

autostrade // per l'italia

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema

A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO


DOCUMENTAZIONE GENERALE

INTERFERENZE IDROGRAFICHE – IDRAULICA

Relazione idrologica–idraulica Opere definitive

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Paolo De Paoli Ord. Ingg. Pavia N. 1739 RESPONSABILE UFFICIO IDR	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 RESPONSABILE AREA DI PROGETTO GENOVA	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torreal Ord. Ingg. Milano N. 18492 RESPONSABILE FUNZIONE STP
--	---	--

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO				DATA: FEBBRAIO 2011	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE			n.	data
	codice commessa	N.Prog.	unità'	n. progressivo		01	Aprile 2011
	11071204	IDR0001	2		SCALA: -	02	Maggio 2012

 Ingegneria europea	COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Ilaria Lavander	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	
CONSULENZA A CURA DI :		IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	Ing. Paolo De Paoli Ord. Ingg. Pavia N. 1739

VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI Ing. Alberto Selleri	VISTO DEL COMMITTENTE  Ing. Giorgio Fabiani	VISTO DEL CONCEDENTE 
---	---	--

INDICE

1. PREMESSA	6
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	6
2.1 Determinazione delle portate di piena di progetto e criteri di dimensionamento delle opere	6
2.1.1 Eventi alluvionali recenti	7
2.1.2 Vasche di intercettazione trasporto solido	8
2.2 Schema di calcolo idraulico	10
2.3 Parametri di scabrezza	10
2.4 Franchi di sicurezza	11
3. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA BORGONUOVO LATO SAVONA	13
3.1 Analisi idrologica	13
3.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	14
3.2.1 Stato di progetto	14
3.3 Condizioni al contorno	16
3.4 Coefficienti di resistenza distribuita	16
3.5 Verifica nella situazione di progetto	17
4. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA BRIC DEL CARMO LATO NORD	22
4.1 Analisi idrologica	22
4.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	23
4.2.1 Stato di progetto	23
4.3 Condizioni al contorno	24
4.4 Coefficienti di resistenza distribuita	24
4.5 Verifica nella situazione di progetto	24
5. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA VOLTRI LATO SAVONA	29
5.1 Analisi idrologica	29
5.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	29
5.2.1 Stato di progetto	29
5.3 Condizioni al contorno	31
5.4 Coefficienti di resistenza distribuita	31
5.5 Verifica nella situazione di progetto	31
6. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA VOLTRI LATO GENOVA	35
6.1 Analisi idrologica	35
6.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	36
6.2.1 Stato di progetto	36
6.3 Condizioni al contorno	37
6.4 Coefficienti di resistenza distribuita	38
6.5 Verifica nella situazione di progetto	38
7. INTERFERENZA RIO AFFLUENTE DEL TORRENTE LEIRO	42

7.1	Analisi idrologica	42
7.2	Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	43
7.2.1	Stato di progetto	43
7.3	Condizioni al contorno	44
7.4	Coefficienti di resistenza distribuita	44
7.5	Verifica nella situazione di progetto	44
8.	INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MONTEROSSO LATO SAVONA E VIA CARPENARA	47
8.1	Analisi idrologica	47
8.2	Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	48
8.2.1	Stato attuale	48
8.2.2	Stato di progetto	48
8.3	Condizioni al contorno	50
8.4	Coefficienti di resistenza distribuita	50
8.5	Verifica nella situazione attuale	51
8.6	Verifica nella situazione di progetto	54
9.	INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MONTEROSSO LATO GENOVA	58
9.1	Analisi idrologica	58
9.2	Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	59
9.2.1	Stato attuale	59
9.2.2	Stato di progetto	61
9.3	Condizioni al contorno	62
9.4	Coefficienti di resistenza distribuita	63
9.5	Verifica della situazione attuale	63
9.6	Verifica della situazione di progetto	67
10.	INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIE BACCAN-BRIC DU VENTU-POLCEVERA	71
10.1	Analisi idrologica	71
10.2	Analisi idraulica	71
11.	INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MOREGO LATO OVEST-RACCORDO A7 NORD-A7 SUD	72
11.1	Analisi idrologica	72
11.2	Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	73
11.2.1	Stato di progetto	73
11.3	Condizioni al contorno	74
11.4	Coefficienti di resistenza distribuita	74
11.5	Verifica nella situazione di progetto	74
12.	INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA TORBELLA OVEST - GRANAROLO LATO NORD	77
12.1	Analisi idrologica	77
12.2	Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	78
12.2.1	Stato di progetto	78
12.3	Condizioni al contorno	79
12.4	Coefficienti di resistenza distribuita	79
12.5	Verifica nella situazione di progetto	79

13.INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIE GRANAROLO - MORO 1 LATO SUD (GE-OVEST)	83
13.1 Analisi idrologica	83
13.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	84
13.2.1 Stato di progetto	84
13.3 Condizioni al contorno	85
13.4 Coefficienti di resistenza distribuita	85
13.5 Verifica nella situazione di progetto	85
14.INTERFERENZA GALLERIA MORO 1 - TRATTO CON PROTESI STRUTTURALE	88
14.1 Analisi idrologica	88
14.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	89
14.2.1 Stato di progetto	89
14.3 Condizioni al contorno	90
14.4 Coefficienti di resistenza distribuita	90
14.5 Verifica della situazione di progetto	91
15.INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MONTE SPERONE LATO EST - RIO ROVENA E FOSSO DI SCARICO FERROVIA GE-CASELLA	95
15.1 Analisi idrologica	95
15.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	96
15.2.1 Stato attuale	96
15.2.2 Stato di progetto	97
15.3 Condizioni al contorno	99
15.4 Coefficienti di resistenza distribuita	99
15.5 Verifica della situazione di stato attuale	99
15.6 Verifica della situazione di progetto	103
15.7 Analisi idraulica del fosso di scarico della ferrovia Genova-Casella	107
16.INTERFERENZA CANTIERE INDUSTRIALE CI06	107
16.1 Analisi idrologica	107
16.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	108
16.2.1 Stato di progetto	108
16.3 Condizioni al contorno	110
16.4 Coefficienti di resistenza distribuita	111
16.5 Verifica della situazione di progetto	111
17.INTERFERENZA VIADOTTO LEIRO OVEST	115
17.1 Analisi idrologica	115
17.2 Stato di progetto	115
18.INTERFERENZA TORRENTE VARENNA	116
18.1 Analisi idrologica	116
18.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	117
18.3 Condizioni al contorno	117
18.4 Coefficienti di resistenza distribuita	118
18.5 Verifica nella situazione attuale	118
18.6 Verifica nella situazione di progetto	121

19.PROTEZIONE PILE IN ALVEO TORRENTE SECCA	121
19.1 Analisi idrologica	121
19.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	121
19.3 Condizioni al contorno	123
19.4 Coefficienti di resistenza distribuita	123
19.5 Verifica nella situazione attuale	123
19.6 Verifica nella situazione di progetto (ampliamento viadotto A7)	127
19.7 Analisi dello scalzamento al piede delle fondazioni	130
19.7.1 Condizioni fisiche di riferimento	130
19.7.2 Metodologie applicate	131
19.7.3 Schematizzazione geometrica	135
19.7.4 Dati di input relativi al viadotto esistente A7 di monte	135
19.7.5 Analisi dei risultati relativi al viadotto esistente A7 di monte	136
19.7.6 Dati di input relativi al viadotto A7 di valle oggetto di interventi di ampliamento	136
19.7.7 Analisi dei risultati relativi al viadotto A7 di valle oggetto di interventi di ampliamento	137
19.8 Interventi di difesa delle fondazioni	138
19.8.1 Calcolo delle condizioni critiche di moto incipiente	138
19.8.2 Verifica di stabilità del materiale di rivestimento	140
20.INTERCONNESSIONE VESIMA	141
20.1.1 Analisi idrologica	141
20.1.2 Analisi idraulica dell'opera OPERA142B	142
20.1.3 Analisi idraulica dell'opera OPERA144B	142
21.INTERFERENZA VIABILITÀ IN 02- ZONA TORBELLA	143
21.1 Analisi idrologica	143
21.2 Analisi idraulica	144
22.INTERFERENZA VIABILITÀ DI SERVIZIO DEFINITIVE	144
22.1 Viabilità VS1	144
22.1.1 Analisi idrologica	144
22.1.2 Analisi idraulica dell'opera VS1-T1	147
22.1.3 Analisi idraulica dell'opera VS1-T2	147
22.1.4 Analisi idraulica dell'opera VS1-T3	147
22.1.5 Analisi idraulica dell'opera VS1-T4	151
22.1.6 Analisi idraulica dell'opera VS1-T5	151
22.1.7 Analisi idraulica dell'opera VS1-T6	151
22.2 Viabilità VS3	152
22.2.1 Analisi idrologica	152
22.2.2 Analisi idraulica dell'opera VS3-A1	153
22.2.3 Analisi idraulica dell'opera VS3-A2	153
22.3 Viabilità VS4	153
22.3.1 Analisi idrologica	153
22.3.2 Analisi idraulica dell'opera VS4-C1	154
22.3.3 Analisi idraulica dell'opera VS4-C2	154
22.4 Viabilità VS8	155
22.4.1 Analisi idrologica	155

22.4.2 Analisi idraulica dell'opera VS8

156

ALLEGATO 1 - Descrizione del codice di calcolo HEC-RAS

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è l'analisi idrologico-idraulica delle interferenze idrografiche del nodo stradale ed autostradale di Genova (Gronda di Ponente – Riqualficazione A10 e potenziamento A7 e A12), con riferimento alle opere definitive in progetto sia sull'Asse Principale, sia sulle Viabilità di Servizio che ai Campi-Cantieri.

Per l'analisi idrologico-idraulica delle opere provvisorie si rimanda invece all'elaborato IDR 0002.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le interferenze idrografiche della gronda di Ponente ricadono negli ambiti di competenza dei seguenti Piani di Bacino redatti dalla Provincia di Genova:

- Piano di Bacino D.L. 180/98 – Ambito 12 e 13;
- Piano di Bacino del Torrente Varenna;
- Piano di Bacino del Torrente Polcevera;
- Piano di Bacino del Torrente Bisagno.

Le opere in progetto sul reticolo idrografico sono inoltre disciplinate dal Regolamento Regionale N.3 del 14 luglio 2011 redatto a cura della Regione Liguria.

Con riferimento alle prescrizioni contenute nella Pianificazione Vigente sopra descritta, nel seguito vengono illustrate le ipotesi generali di calcolo adottate sia nello studio idrologico che nelle verifiche idrauliche degli interventi in progetto.

2.1 Determinazione delle portate di piena di progetto e criteri di dimensionamento delle opere

Per tutti i corsi d'acqua superficiali interessati da un'opera in progetto è stato individuato il corrispondente bacino imbrifero sotteso a partire dalle seguenti cartografie di base disponibili:

- rilievo fotogrammetrico in scala 1:5.000 per i bacini più piccoli;
- CTR in scala 1:10.000 per i bacini maggiori.

Ove disponibili, si è fatto direttamente riferimento ai valori delle portate di piena di riferimento con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni pubblicate sulle tabelle contenute nei Piani di Bacino sopra citati.

Come portata di piena di progetto si è assunto in particolare quella con tempo di ritorno 200 anni.

Per le sezioni in cui non è specificatamente disponibile un valore di portata di piena di riferimento nei Piani di Bacino, è stato conservativamente considerato il valore della piena con tempo di ritorno 200 anni individuato come valido nella sezione immediatamente a valle di quella considerata, nei casi in cui la porzione di bacino residuo non risulti eccessiva. Altrimenti la portata è stata calcolata mediante l'utilizzo di un contributo unitario

ricavato per interpolazione lineare tra quello di monte e quello di valle già definiti dal Piano, mediante l'applicazione della seguente formula:

$$Q_i = (A_m + dA) * [q_m - (q_m - q_v) / (A_v - A_m) * dA]$$

in cui:

$$q_m = Q_m / A_m;$$

$$q_v = Q_v / A_v;$$

$$dA = A_i - A_m;$$

Q_i, Q_m, Q_v = portata intermedia, di monte e di valle;

A_m, A_v, A_i = area scolante di monte, di valle ed intermedia;

q_m, q_v = contributi unitari di monte e di valle.

Per i corsi d'acqua minori, privi di specifiche indicazioni di portata nei Piani di Bacino, si è assunta una portata di piena di progetto calcolata utilizzando un contributo unitario pari a:

- 40 m³/s km² per bacini fino a 1 km²;
- 38 m³/s km² per bacini da 1 a 2 km²;
- 36 m³/s km² per bacini da 2 a 3 km²;
- 35 m³/s km² per bacini da 3 a 4 km²;
- 34 m³/s km² per bacini da 4 a 5 km²;
- 32 m³/s km² per bacini da 5 a 6 km²;
- 31 m³/s km² per bacini da 6 a 7 km²;
- 30 m³/s km² per bacini da 7 a 8 km².

Il dimensionamento idraulico delle opere di attraversamento è avvenuto nel pieno rispetto delle prescrizioni imposte dal Regolamento Regionale N.3 del 14 luglio 2011, in cui si diversificano i criteri di assunzione del franco idraulico di sicurezza in funzione del "livello" di gerarchizzazione idrografica in cui il corso d'acqua ricade. A monte degli attraversamenti in progetto sono state altresì previste opere di intercettazione del trasporto solido (vasche di sedimentazione), a cui è associato un programma di manutenzione al fine di mantenere efficiente nel tempo la loro funzionalità idraulica.

2.1.1 Eventi alluvionali recenti

Il territorio genovese è stato colpito negli ultimi anni da eventi idrologici intensi, in particolare :

- l'evento del 4 ottobre 2010 che ha interessato il ponente genovese, caratterizzato da piogge di breve durata e forte intensità; esso ha generato esondazioni nel bacino del torrente Chiaravagna e nei bacini scolanti dell'ambito 13;
- l'evento del 4 novembre 2011 che ha interessato i bacini del torrente Bisagno e del suo affluente torrente Fereggiano; tale evento ha generato diffuse esondazioni sulla parte terminale del Fereggiano (da largo Merlo alla confluenza in Bisagno) e localmente sul torrente Bisagno immediatamente a monte del tratto tombinato.

I due eventi sopra descritti hanno generato sui corsi d'acqua del genovese portate mai superiori a tempo di ritorno 200 anni:

- la piena del torrente Chiaravagna ha corrisposto a un tempo di ritorno di poco superiore a 100 anni;
- la portata generata lungo il torrente Fereggiano è stata caratterizzata da un tempo di ritorno di poco superiore a 150 anni mentre quella sul Bisagno da tempo di ritorno pari a circa 40 anni.

Le esondazioni generate durante questi eventi sono spesso da ricondurre ad un sistema di reticolo idrografico vulnerabile nei tratti di attraversamento dei centri abitati a causa dell'inadeguatezza idraulica delle opere di attraversamento o idrauliche presenti.

Le opere previste nel presente Progetto sono dimensionate per un tempo di ritorno di 200 anni, che oltre ad essere in linea con le prescrizioni imposte dai Piani di Assetto Idrogeologico risulta dal punto di vista idrologico coerente con gli intensi eventi alluvionali recenti; dal punto di vista idraulico il dimensionamento delle opere assunto risponde a quanto prescritto dal Regolamento Regionale N.3 del 14 luglio 2011 in cui oltre ad essere previsti franchi di sicurezza cautelativi rispetto alle caratteristiche del deflusso della piena bicentenaria (che spesso non supera il 50% del riempimento della sezione di progetto delle opere) prescrive la necessità di prevedere opere di intercettazione e controllo del trasporto solido (vasche di accumulo) al fine di ridurre la probabilità di occlusione delle sezioni delle opere di sistemazione previste e riducendo il fattore di rischio idraulico di esondazione.

2.1.2 Vasche di intercettazione trasporto solido

In tutte le sistemazioni idrauliche dei corsi d'acqua interferenti con la Gronda sono state previste delle vasche di intercettazione del trasporto solido. La movimentazione di materiale solido lungo un'asta fluviale viene determinata anche dal deflusso di portate di modesta entità in termini di tempo di ritorno.

Nella progettazione e dimensionamento delle vasche di intercettazione ed accumulo del trasporto solido si è tenuto conto dei seguenti fattori:

1. del materiale flottante (vegetazione arbustiva e/ arborea...) trasportato in superficie dalla corrente di piena;
2. caratteristiche geomorfologiche dei versanti e delle incisioni dei tratti di corso d'acqua interferiti su cui si devono realizzare le opere di sedimentazione;
3. granulometria caratteristica del corso d'acqua misurata su un tronco significativamente esteso; spessore e tipologia dei depositi, eventuale tipologia di dissesto presente nelle immediatezze dell'attraversamento in progetto (si vedano le schede di sopralluogo);
4. formulazione teorica (PICA) largamente applicata su scala nazionale, calibrata su 95 tronchi d'alveo appartenenti a 70 corsi d'acqua a regime misto (correnti lente e veloci) su cui si sono tarati i dati di misura prelevati in situ.

Per quanto attiene al punto 1, si sono previste a monte delle sistemazioni (e delle vasche di sedimentazione) delle briglie selettive a pettine in grado di trattenere il trasporto flottante e quindi di impedire la parzializzazione delle sezioni di attraversamento delle opere.

Per quanto attiene al punto 2, si specifica che la dimensione degli alvei dei corsi d'acqua in analisi (2°, 3° livello e minuto) è decisamente contenuta in termini di ampiezza in quanto le aste sono profondamente incise in versanti ripidi; tali caratteristiche pongono un limite alla creazione di vasche di elevata volumetria che

richiederebbero in alcuni casi la riprofilatura delle pendici dei versanti stessi con l'introduzione di opere di sostegno di dimensione importante. Le vasche sono state pertanto dimensionate in modo tale da essere compatibili, in termini geometrici, con le dimensioni dei corsi d'acqua. Sulla base di queste premesse la funzionalità delle vasche dovrà essere assicurata da interventi di manutenzione ordinaria (disalveo) da eseguirsi con scadenza semestrale alternati da interventi di manutenzione straordinaria nel caso si manifestino eventi di piena significativi (compresi tra 5 e 20 anni di tempo di ritorno).

Per quanto attiene ai punti 3 e 4 si sono eseguite delle valutazioni di massima sulle quantità di materiale movimentabili da eventi di tempo di ritorno 10-20 anni, utilizzando come dato di input i dati di misura rilevati in situ descritti al punto 3.

Per la valutazione della capacità di trasporto solido è stata applicata la formulazione sperimentale proposta da M.Pica in "Trasporto solido al fondo" (Energia Elettrica, n. 8-1974, L'ACQUA 2/2000) basata sulle relazioni tra pendenza dei canali di deflusso, portata liquida e granulometria dei depositi in alveo espresse mediante il calcolo di due fattori adimensionali:

- τ (sforzo tangenziale sull'elemento solido);
- g_s (intensità del trasporto solido).

La formulazione utilizzata è la seguente:

$$\tau = \frac{1}{\gamma_*} \frac{Q^{3/8} i^{13/16}}{g^{3/16} d^{15/16}} \quad g_s = 0.74 \tau^{2.3} \quad g_s = \frac{1}{\gamma_s \cdot \gamma_*^{1/2} g^{5/16}} \frac{G_s i^{3/16}}{Q^{3/8} d^{25/16}}$$

in cui

Q	=	portata liquida al colmo con tempo di ritorno assegnato (m ³ /s)
i	=	pendenza media dell'alveo
γ_s	=	peso specifico del materiale in alveo
g	=	accelerazione di gravità
d	=	diametro medio del materiale in alveo
γ_*	=	$(\gamma_s - \gamma) / \gamma$, con γ = peso specifico dell'acqua
G_s	=	portata solida (Kg/s)

Per ricostruire l'apporto solido complessivo viene assunto un idrogramma di piena con ampiezza massima pari al tempo di corruzione t_c , ed esaurimento dell'evento dopo un tempo uguale a $3 t_c$.

La granulometria media dei materiali in alveo rappresenta la frazione mediamente mobilizzabile nel tipo di depositi maggiormente diffusi nell'area oggetto di studio ed è valutata sulla base delle osservazioni svolte in sito.

2.2 Schema di calcolo idraulico

Le analisi idrauliche delle opere definitive in progetto sono state condotte applicando schemi di calcolo in moto permanente, visto il comportamento torrentizio dei corsi d'acqua interferenti, tale per cui vengono esclusi fenomeni di laminazione del colmo di piena; la schematizzazione inoltre risulta cautelativa dal punto di vista idraulico (nell'ottica del dimensionamento degli attraversamenti) escludendo fenomeni di coppia di piena in quanto le portate ed i livelli si propagano lungo l'asta fasati temporalmente (cioè coincidenti lungo l'asse tempo).

Le analisi idrauliche sono state condotte mediante la messa a punto ed applicazione di modelli idraulici monodimensionali basati sul codice di calcolo HEC RAS (vedi descrizione in allegato 1). Va specificato che per alcuni corsi d'acqua minori si è eseguita la sola simulazione relativa allo stato di progetto in quanto:

- nello stato naturale (ante operam) l'asta torrentizia è priva di una sezione d'alveo definibile geometricamente e quindi assimilabile ad una semplice incisione del versante;
- l'opera prevista ha dimensioni molto superiori rispetto all'assetto dell'alveo nello stato naturale e quindi tale da non esercitare alcuna perturbazione sul deflusso di piena (questa caratteristica delle opere in progetto deriva dai criteri di dimensionamento molto cautelativi prescritti nel Regolamento Regionale del luglio 2011).

Per le viabilità di servizio e alcune opere di minore importanza la verifica idraulica è stata condotta applicando uno schema di calcolo idrodinamico locale, utilizzando la formulazione proposta da Chezy del moto uniforme nel seguito riportata, sulla base dei dati geometrici dell'opera (sezione trasversale e pendenza di fondo):

$$Q = \chi * \Omega * (R * i_f)^{0.5}$$

$$\chi = c * R^{(1/6)}$$

in cui:

- c = coefficiente di resistenza distribuita secondo Gauckler – Strickler ($m^{1/3}s^{-1}$);
 Ω = area bagnata della sezione idraulica (m^2);
R = raggio idraulico (m);
 i_f = pendenza del fondo (m/m).

2.3 Parametri di scabrezza

Nella scelta dei parametri di scabrezza utilizzati nelle verifiche idrauliche si è fatto riferimento in generale ai valori relativi alla formulazione di Strickler indicati nella Tabella 1.

Descrizione corso d'acqua	Coefficienti di scabrezza di Gauckler-Strickler Ks (m ^{1/3} s ⁻¹)
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee in buono stato)	35-40
Corsi d'acqua con fondo e argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc..) o discontinuità interferenti con le acque	40-45

Tabella 1 – Coefficienti di scabrezza prescritti all'interno del Regolamento Regionale N.3 del 14 luglio 2011.

2.4 Franchi di sicurezza

Anche per la valutazione dell'adeguatezza idraulica delle opere in progetto si è fatto riferimento al succitato Regolamento Regionale che in funzione della gerarchizzazione idrografica dei corsi d'acqua stabilisce i seguenti franchi idraulici:

1. Reticolo idrografico di 1° (S>1 km²) e 2° livello (0.25<S<1.0 km²)

- a) Sezione minima tombinatura BxH=2.0x2.0 m
- b) Franco idraulico non inferiore al valore maggiore tra:
carico cinetico della corrente $V^2/2g$ e

I	argini e difese spondali	cm. 50/100
II	ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12	cm. 100/150
III	coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento oltre m. 12	cm. 150/200

2. Reticolo idrografico 3° livello (0.1<S<0.25 km²)

- a) Sezione minima tombinatura >3 m²
- b) Franco idraulico non inferiore al valore maggiore tra
semi carico cinetico della corrente $0.5 V^2/2g$ e

I	argini e difese spondali	cm. 50
II	ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12	cm. 75
III	coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento oltre m. 12	cm. 100

3. Reticolo idrografico minuto ($S < 0.1 \text{ km}^2$)

- a) Sezione minima tombinatura $> 3 \text{ m}^2$
- b) Franco idraulico non inferiore al valore:
 - 0.3 m per argini e difese spondali (sezioni aperte);
 - 0.5 m per ponti e tombini (sezioni a cielo chiuso).

3. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA BORGONUOVO LATO SAVONA

3.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Borgonuovo lato Savona (vedi Figura 1) ha una superficie $S = 0.19 \text{ km}^2$ e secondo la gerarchizzazione idrografica prevista dal Regolamento Regionale N.3 appartiene al reticolo di terzo livello.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 7.6 \text{ m}^3/\text{s}.$$

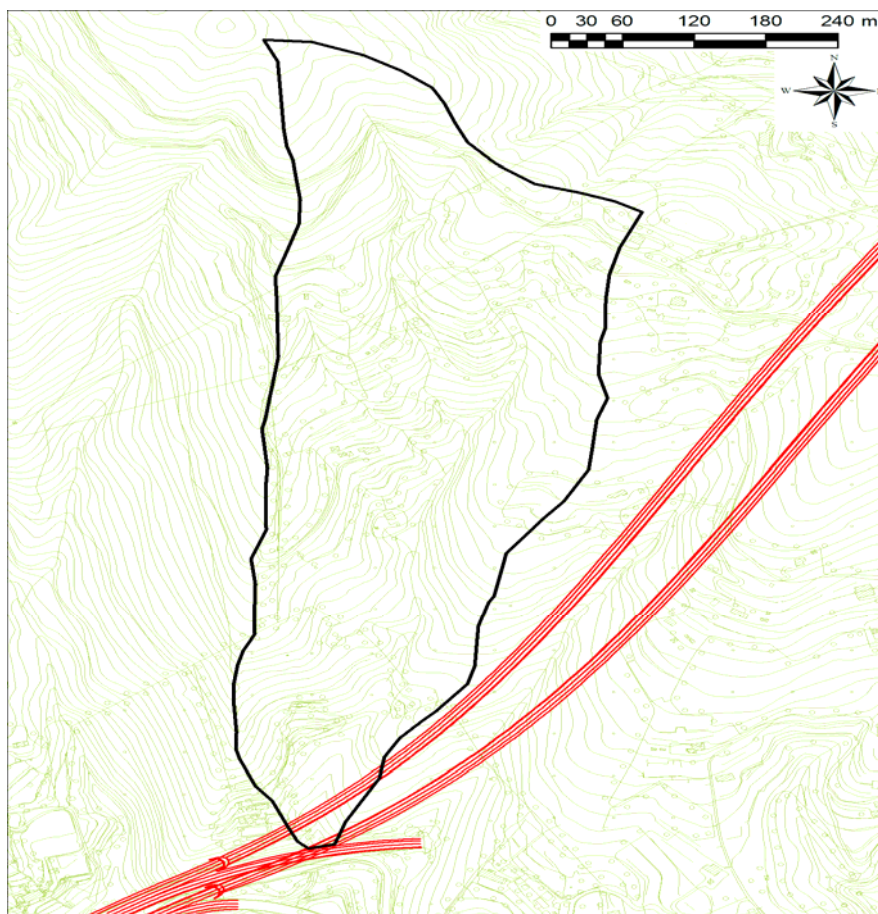


Figura 1 – Bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Borgonuovo lato Savona.

3.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

3.2.1 Stato di progetto

La simulazione idraulica dello stato di progetto schematizza gli interventi di sistemazione previsti sul rio che sono costituiti da:

- vasca di controllo del trasporto solido localizzata in testa al tratto sistemato; essa ha un'estensione di 12.0 m e presenta una larghezza trasversale di 4.0 m;
- sistemazione in gabbioni metallici di estensione pari a 36.6 m, secondo una sezione larga 3.0 m alla base e 4.0 in sommità, di altezza pari a 1.70 m; la sistemazione per un primo tratto di 20.0 m ha una pendenza pari al 20% e compie 3 salti di fondo di altezza 1.0 m, successivamente si estende con pendenza del 3% per un tratto di 16.6 m;
- a valle del tratto rivestito in gabbioni è previsto un tratto di canale rettangolare in c.a. di dimensioni BxH=3.00xvar. 3.00-8.75m, di lunghezza pari a circa 46.0 m e pendenza pari al 3%; nel suo sviluppo il canale compie 11 salti di fondo di altezza variabile;
- nel tratto successivo, il canale si immette in una tombinatura scatolare in cls di dimensioni BxH=3.0x3.0 m che si sviluppa in 2 tronconi successivi di lunghezza di circa 15.0 m con pendenza dell'8% e 66.60 m con pendenza pari al 2.0%.

Il modello idraulico è composto da 61 sezioni trasversali (costituite dalle sezioni tipo di sistemazione indicate sul profilo longitudinale di progetto), che descrivono geometricamente gli interventi previsti sul corso d'acqua per un'estensione di circa 186.0 m.

Di seguito (Tabella 2) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	64.15	136.80	134.80
inizio vasca controllo trasporto solido monte salto	2	64.65	136.80	134.80
valle salto	3	64.85	136.80	132.94
monte salto	4	70.89	135.11	132.94
valle salto	5	71.09	135.11	131.85
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	6	76.45	133.55	131.85
inizio gabbioni	7	76.65	132.05	130.35
	8	80.65	131.23	129.53
monte salto	9	81.65	131.20	129.50
valle salto	10	81.85	131.20	128.53

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
	11	85.65	129.41	127.71
monte salto	12	86.65	129.41	127.68
valle salto	13	86.85	129.41	126.71
	14	90.65	127.63	125.89
monte salto	15	91.65	127.59	125.86
valle salto	16	91.85	127.59	124.89
	17	96.65	126.37	123.87
fine gabbioni/ inizio canale				
monte salto	18	113.25	126.37	123.37
valle salto	19	113.45	125.63	117.18
	20	116.25	120.18	117.18
monte salto	21	121.65	120.03	117.03
valle salto	22	121.85	118.53	115.53
monte salto	23	126.65	118.38	115.38
valle salto	24	126.85	116.88	113.88
monte salto	25	131.65	116.73	113.73
valle salto	26	131.85	115.23	112.23
monte salto	27	136.65	115.08	112.08
valle salto	28	136.85	113.58	110.58
monte salto	29	141.65	113.43	110.43
valle salto	30	141.85	112.43	109.43
monte salto	31	147.65	112.25	109.25
valle salto	32	147.85	110.55	107.55
monte salto	33	150.65	110.46	107.46
valle salto	34	150.85	108.96	105.96
monte salto	35	153.64	108.87	105.87
valle salto	36	153.84	107.37	104.37
monte salto	37	156.64	107.28	104.28
valle salto	38	156.84	105.78	102.78
monte salto	39	159.64	105.69	102.69
valle salto	40	159.84	104.19	101.19
fine canale monte salto	41	162.19	104.11	101.11
inizio scatolare BXH=3.0X3.0 m valle salto	42	162.39	104.11	93.49
	43	165.59	104.11	93.49
monte salto	44	171.14	99.88	92.88
valle salto	45	171.34	99.88	90.88
monte salto	46	176.69	95.65	90.28
valle salto	47	176.89	95.65	88.28
monte salto	48	180.33	92.88	87.88

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
valle salto	49	180.53	92.88	80.27
	50	183.33	92.88	80.27
monte salto	51	197.66	82.98	79.98
valle salto	52	197.86	81.21	78.21
monte salto	53	209.67	80.97	77.97
valle salto	54	209.87	79.22	76.22
monte salto	55	221.66	78.98	75.98
valle salto	56	221.86	77.23	74.23
monte salto	57	233.66	76.99	73.99
valle salto	58	233.86	75.49	72.49
monte salto	59	245.65	75.25	72.25
valle salto	60	245.85	75.25	69.35
fine scatolare BXH=3.0X3.0 m	61	249.90	75.15	69.30

Tabella 2 - Profilo longitudinale del rio nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione, rappresenta il corso d'acqua sistemato così come riportato nell'elaborato di progetto IDR 0104.

3.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 7.60 m³/s e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 64.15 m;
- scala di moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez.61) a progressiva 249.90 m.

3.4 Coefficienti di resistenza distribuita

In accordo con il Regolamento regionale N.3 per il tratto sistemato in gabbioni metallici si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a 30 m^{1/3} s⁻¹ (0.033 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning).

Per i tratti in calcestruzzo si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a 45 m^{1/3} s⁻¹ (0.022 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning).

3.5 Verifica nella situazione di progetto

Dalla simulazione eseguita si può evincere che la piena è sempre abbondantemente contenuta nelle tipologie di sistemazione previste; le sezioni d'attraversamento rispettano le dimensioni minime (3.0 m²) prescritte dal Regolamento sopraccitato.

Il franco di sicurezza nel tratto a cielo aperto è sempre superiore sia al valore minimo tabulare fissato in 0.5 m che a quello costituito dalla semi altezza cinetica; tale criterio è soddisfatto anche per il tratto di tombinatura il cui franco non deve essere inferiore ad 1.0 m e comunque alla semi altezza cinetica.

Di seguito (Tabella 3 e Figura 2) si riportano i risultati della simulazione rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
	1	64.15	136.80	7.6	134.80	135.61	135.51	135.89	0.0104	2.35	3.23	4.00	0.84	1.19
inizio vasca controllo trasporto solido monte salto	2	64.65	136.80	7.6	134.80	135.51	135.51	135.87	0.0150	2.66	2.86	4.00	1.01	1.29
valle salto	3	64.85	136.80	7.6	132.94	133.21	133.65	135.66	0.2875	6.93	1.10	4.00	4.22	3.59
monte salto	4	70.89	135.11	7.6	132.94	133.35	133.65	134.43	0.0789	4.59	1.66	4.00	2.28	1.76
valle salto	5	71.09	135.11	7.6	131.85	132.14	132.56	134.29	0.2349	6.50	1.17	4.00	3.84	2.97
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	6	76.45	133.55	7.6	131.85	132.27	132.56	133.31	0.0745	4.50	1.69	4.00	2.21	1.28
inizio gabbioni	7	76.65	132.05	7.6	130.35	130.72	131.24	133.14	0.2180	6.90	1.10	3.00	3.63	1.33
	8	80.65	131.23	7.6	129.53	129.90	130.42	132.27	0.2101	6.82	1.12	3.00	3.57	1.33
monte salto	9	81.65	131.20	7.6	129.50	129.89	130.39	131.99	0.1750	6.42	1.18	3.00	3.26	1.31
valle salto	10	81.85	131.20	7.6	128.53	128.86	129.42	131.86	0.3027	7.67	0.99	3.00	4.26	2.34
	11	85.65	129.41	7.6	127.71	128.06	128.60	130.71	0.2501	7.21	1.05	3.00	3.88	1.35
monte salto	12	86.65	129.41	7.6	127.68	128.05	128.57	130.39	0.2059	6.77	1.12	3.00	3.53	1.36
valle salto	13	86.85	129.41	7.6	126.71	127.03	127.60	130.25	0.3377	7.95	0.96	3.00	4.49	2.38
	14	90.65	127.63	7.6	125.89	126.24	126.78	128.98	0.2632	7.33	1.04	3.00	3.98	1.39
monte salto	15	91.65	127.59	7.6	125.86	126.23	126.75	128.64	0.2159	6.88	1.11	3.00	3.62	1.36
valle salto	16	91.85	127.59	7.6	124.89	125.21	125.78	128.49	0.3491	8.03	0.95	3.00	4.57	2.38
	17	96.65	126.37	7.6	123.87	124.22	124.76	126.89	0.2531	7.24	1.05	3.00	3.91	2.15
fine gabbioni/ inizio canale monte salto	18	113.25	126.37	7.6	123.37	123.89	124.24	125.09	0.0401	4.84	1.57	3.00	2.14	2.48
valle salto	19	113.45	125.63	7.6	117.18	117.39	118.05	124.48	0.6251	11.79	0.64	3.00	8.12	8.24
	20	116.25	120.18	7.6	117.18	117.43	118.05	122.56	0.3755	10.03	0.76	3.00	6.37	2.75

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
monte salto	21	121.65	120.03	7.6	117.03	117.35	117.90	120.62	0.1862	8.01	0.95	3.00	4.55	2.68
valle salto	22	121.85	118.53	7.6	115.53	115.80	116.39	120.43	0.3206	9.54	0.80	3.00	5.91	2.73
monte salto	23	126.65	118.38	7.6	115.38	115.70	116.24	118.87	0.1776	7.89	0.96	3.00	4.45	2.68
valle salto	24	126.85	116.88	7.6	113.88	114.15	114.75	118.69	0.3106	9.44	0.80	3.00	5.82	2.73
monte salto	25	131.65	116.73	7.6	113.73	114.05	114.60	117.18	0.1734	7.83	0.97	3.00	4.39	2.68
valle salto	26	131.85	115.23	7.6	112.23	112.50	113.10	116.99	0.3055	9.39	0.81	3.00	5.77	2.73
monte salto	27	136.65	115.08	7.6	112.08	112.41	112.95	115.50	0.1712	7.80	0.97	3.00	4.37	2.67
valle salto	28	136.85	113.58	7.6	110.58	110.85	111.44	115.32	0.3029	9.37	0.81	3.00	5.75	2.73
monte salto	29	141.65	113.43	7.6	110.43	110.76	111.29	113.84	0.1701	7.78	0.98	3.00	4.35	2.67
valle salto	30	141.85	112.43	7.6	109.43	109.72	110.29	113.71	0.2539	8.85	0.86	3.00	5.28	2.71
monte salto	31	147.65	112.25	7.6	109.25	109.60	110.12	112.26	0.1352	7.23	1.05	3.00	3.90	2.65
valle salto	32	147.85	110.55	7.6	107.55	107.83	108.41	112.06	0.2786	9.12	0.83	3.00	5.52	2.72
monte salto	33	150.65	110.46	7.6	107.46	107.77	108.33	111.16	0.1968	8.16	0.93	3.00	4.67	2.69
valle salto	34	150.85	108.96	7.6	105.96	106.22	106.83	110.97	0.3333	9.66	0.79	3.00	6.02	2.74
monte salto	35	153.64	108.87	7.6	105.87	106.17	106.74	109.91	0.2294	8.57	0.89	3.00	5.03	2.70
valle salto	36	153.84	107.37	7.6	104.37	104.62	105.24	109.71	0.3714	10.00	0.76	3.00	6.34	2.75
monte salto	37	156.64	107.28	7.6	104.28	104.57	105.15	108.53	0.2510	8.82	0.86	3.00	5.25	2.71
valle salto	38	156.84	105.78	7.6	102.78	103.03	103.65	108.33	0.3963	10.20	0.74	3.00	6.54	2.75
monte salto	39	159.64	105.69	7.6	102.69	102.97	103.55	107.08	0.2650	8.98	0.85	3.00	5.39	2.72
valle salto	40	159.84	104.19	7.6	101.19	101.44	102.05	106.87	0.4122	10.33	0.74	3.00	6.66	2.75
fine canale monte salto	41	162.19	104.11	7.6	101.11	101.38	101.98	105.74	0.2913	9.25	0.82	3.00	5.64	2.73
inizio scatolare BXH=3.0X3.0 m valle salto	42	162.39	104.11	7.6	93.49	93.66	94.35	104.94	1.3113	14.88	0.51	3.00	11.51	10.45

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
	43	165.59	104.11	7.6	93.49	93.70	94.35	100.88	0.6378	11.87	0.64	3.00	8.20	10.41
monte salto	44	171.14	99.88	7.6	92.88	93.15	93.74	97.69	0.3111	9.45	0.80	3.00	5.82	6.73
valle salto	45	171.34	99.88	7.6	90.88	91.11	91.75	97.44	0.5234	11.15	0.68	3.00	7.46	8.77
monte salto	46	176.69	95.65	7.6	90.28	90.56	91.14	94.81	0.2806	9.14	0.83	3.00	5.54	5.09
valle salto	47	176.89	95.65	7.6	88.28	88.51	89.15	94.56	0.4871	10.90	0.70	3.00	7.21	7.14
monte salto	48	180.33	92.88	7.6	87.88	88.15	88.75	92.79	0.3221	9.55	0.80	3.00	5.92	4.73
valle salto	49	180.53	92.88	7.6	80.27	80.44	81.14	91.99	1.3611	15.06	0.50	3.00	11.72	12.44
	50	183.33	92.88	7.6	80.27	80.48	81.14	88.14	0.7089	12.27	0.62	3.00	8.62	12.40
monte salto	51	197.66	82.98	7.6	79.98	80.33	80.85	82.95	0.1315	7.16	1.06	3.00	3.84	2.65
valle salto	52	197.86	81.21	7.6	78.21	78.49	79.07	82.74	0.2806	9.14	0.83	3.00	5.54	2.72
monte salto	53	209.67	80.97	7.6	77.97	78.37	78.84	80.37	0.0871	6.26	1.21	3.00	3.14	2.60
valle salto	54	209.87	79.22	7.6	76.22	76.52	77.09	80.18	0.2215	8.47	0.90	3.00	4.95	2.70
monte salto	55	221.66	78.98	7.6	75.98	76.41	76.84	78.21	0.0748	5.95	1.28	3.00	2.91	2.57
valle salto	56	221.86	77.23	7.6	74.23	74.54	75.10	78.02	0.2053	8.27	0.92	3.00	4.77	2.69
monte salto	57	233.66	76.99	7.6	73.99	74.42	74.85	76.17	0.0711	5.86	1.30	3.00	2.84	2.57
valle salto	58	233.86	75.49	7.6	72.49	72.81	73.35	76.00	0.1792	7.91	0.96	3.00	4.47	2.68
monte salto	59	245.65	75.25	7.6	72.25	72.70	73.12	74.34	0.0651	5.69	1.34	3.00	2.72	2.55
valle salto	60	245.85	75.25	7.6	69.35	69.62	70.22	74.04	0.2974	9.31	0.82	3.00	5.70	5.63
fine scatolare BXH=3.0X3.0 m	61	249.90	75.15	7.6	69.30	69.62	70.17	72.75	0.1737	7.84	0.97	3.00	4.40	5.53

Tabella 3 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

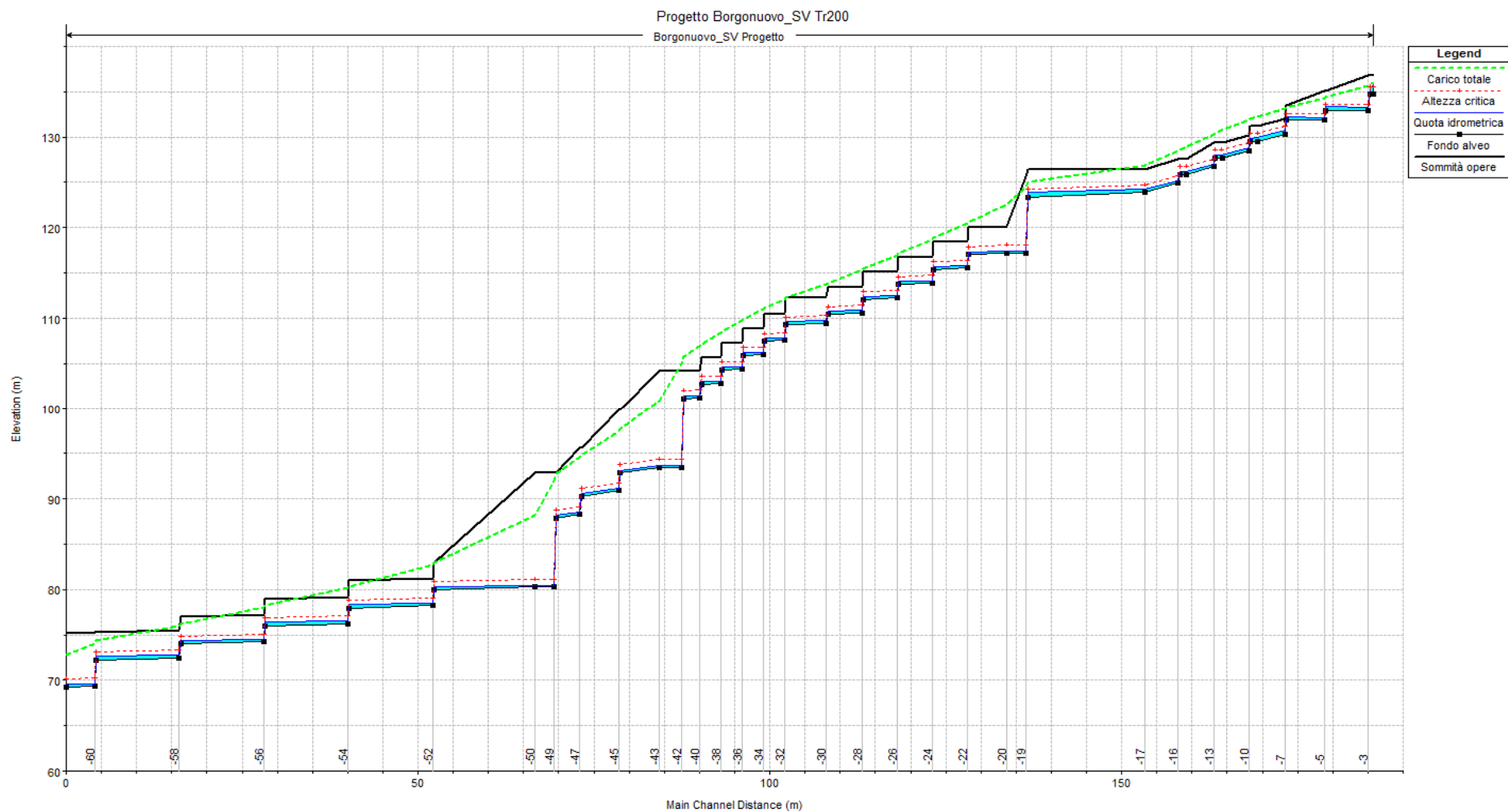


Figura 2 – Profilo idrometrico con tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

4. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA BRIC DEL CARMO LATO NORD

4.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Borgonuovo lato Genova (vedi Figura 3) ha una superficie $S = 0.057 \text{ km}^2$ e secondo la gerarchizzazione idrografica prevista dal Regolamento Regionale N.3 appartiene al reticolo minuto.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 2.3 \text{ m}^3/\text{s}.$$

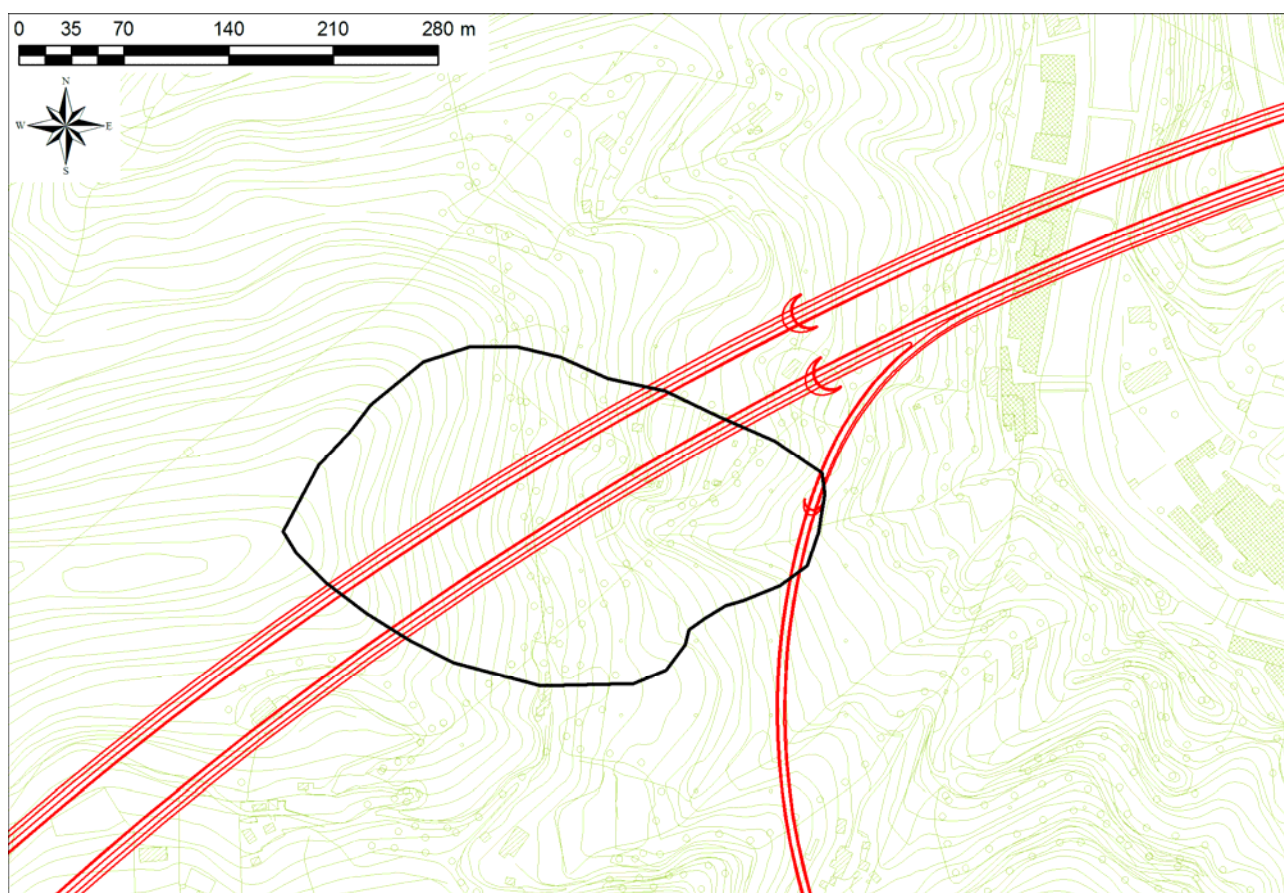


Figura 3 – Bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Borgonuovo lato Genova.

4.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

4.2.1 Stato di progetto

La simulazione idraulica dello stato di progetto schematizza gli interventi di sistemazione previsti sul rio che sono costituiti da:

- una vasca di controllo del trasporto solido localizzata in testa al tratto sistemato; essa ha un'estensione di 12.0 m e presenta una larghezza trasversale di 2.0 m;
- un tratto tombinato a valle di essa costituito da un manufatto scatolare in c.a. di dimensione BxH=2.0x2.0 m, estensione pari a circa 57.0 m e caratterizzato dalla presenza di 11 salti di fondo secondo una pendenza del 2%.

Il modello idraulico è composto da 29 sezioni trasversali (costituite dalle sezioni tipo di sistemazione indicate sul profilo longitudinale di progetto), che descrivono geometricamente gli interventi previsti sul corso d'acqua per un'estensione di circa 69.0 m.

Di seguito (Tabella 4) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
Inizio vasca controllo trasporto solido	1	57.68	91.14	89.14
monte salto	2	58.18	91.14	89.14
valle salto	3	58.38	91.14	88.54
monte salto	4	63.78	91.02	88.54
valle salto	5	63.98	91.02	87.82
monte salto (fine vasca controllo trasporto solido)	6	70.18	90.49	87.82
valle salto	7	70.38	90.49	83.82
Inizio T. scatolare 2X2	8	72.18	90.49	83.78
monte salto	9	74.68	85.73	83.73
valle salto	10	74.88	85.73	81.73
monte salto	11	79.18	83.64	81.64
valle salto	12	79.38	83.64	79.64
monte salto	13	83.68	81.55	79.55
valle salto	14	83.88	81.55	77.55
monte salto	15	88.18	79.46	77.46
valle salto	16	88.38	79.46	75.46
monte salto	17	92.68	77.37	75.37
valle salto	18	92.88	77.37	73.37
monte salto	19	97.18	75.28	73.28

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
valle salto	20	97.38	75.28	71.28
monte salto	21	101.68	73.19	71.19
valle salto	22	101.88	73.19	69.19
monte salto	23	106.18	71.10	69.10
valle salto	24	106.38	71.10	67.10
monte salto	25	110.68	69.01	67.01
valle salto	26	110.88	69.01	65.51
monte salto	27	115.18	67.42	65.42
valle salto	28	115.38	67.42	63.92
Fine T. scatolare 2X2	29	126.89	65.69	63.69

Tabella 4 - Profilo longitudinale del rio nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione, rappresenta il corso d'acqua sistemato così come riportato nell'elaborato di progetto IDR 0105.

4.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$ e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 57.68 m;
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez.29) a progressiva 126.89 m.

4.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per la vasca di controllo del trasporto solido e il tombino scatolare in cls, in accordo con il Regolamento Regionale N.3, si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

4.5 Verifica nella situazione di progetto

Dalla simulazione eseguita si può evincere che l'intero tratto in progetto ha un franco di sicurezza sempre superiore a 1.40 m.

La sezione di tombinatura prevista rispetta le prescrizioni del Regolamento Regionale che prevede una dimensione areale non inferiore a 3.0 m^2 .

Le opere in progetto sono adeguate idraulicamente in quanto il franco di sicurezza è sempre superiore a 0.5 m per la sezione di attraversamento e a 0.3 m per il tratto della vasca di sedimentazione.

Di seguito (Tabella 5 e Figura 4) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
Inizio vasca controllo trasporto solido	1	57.68	91.14	2.3	89.14	89.72	89.65	89.92	0.0071	1.97	1.17	2.00	0.82	1.42
monte salto	2	58.18	91.14	2.3	89.14	89.65	89.65	89.91	0.0104	2.25	1.02	2.00	1.01	1.49
valle salto	3	58.38	91.14	2.3	88.54	88.80	89.05	89.83	0.0817	4.50	0.51	2.00	2.84	2.34
monte salto	4	63.78	91.02	2.3	88.54	88.90	89.05	89.43	0.0298	3.22	0.71	2.00	1.72	2.12
valle salto	5	63.98	91.02	2.3	87.82	88.05	88.33	89.34	0.1153	5.03	0.46	2.00	3.36	2.97
monte salto (fine vasca controllo trasporto solido)	6	70.18	90.49	2.3	87.82	88.15	88.33	88.76	0.0368	3.46	0.67	2.00	1.91	2.34
valle salto	7	70.38	90.49	2.3	83.82	83.94	84.33	88.36	0.7963	9.31	0.25	2.00	8.45	6.55
Inizio T. scatolare 2X2	8	72.18	90.49	2.3	83.78	83.93	84.29	86.91	0.4259	7.64	0.30	2.00	6.29	6.56
monte salto	9	74.68	85.73	2.3	83.73	83.92	84.24	85.86	0.2178	6.17	0.37	2.00	4.57	1.81
valle salto	10	74.88	85.73	2.3	81.73	81.86	82.24	85.61	0.6131	8.57	0.27	2.00	7.47	3.87
monte salto	11	79.18	83.64	2.3	81.64	81.83	82.15	83.65	0.1969	5.98	0.38	2.00	4.35	1.81
valle salto	12	79.38	83.64	2.3	79.64	79.78	80.15	83.41	0.5833	8.44	0.27	2.00	7.30	3.86
monte salto	13	83.68	81.55	2.3	79.55	79.74	80.06	81.53	0.1904	5.91	0.39	2.00	4.28	1.81
valle salto	14	83.88	81.55	2.3	77.55	77.69	78.06	81.28	0.5741	8.40	0.27	2.00	7.25	3.86
monte salto	15	88.18	79.46	2.3	77.46	77.66	77.97	79.42	0.1883	5.89	0.39	2.00	4.26	1.80
valle salto	16	88.38	79.46	2.3	75.46	75.60	75.97	79.18	0.5714	8.39	0.27	2.00	7.23	3.86
monte salto	17	92.68	77.37	2.3	75.37	75.57	75.88	77.33	0.1877	5.89	0.39	2.00	4.25	1.80
valle salto	18	92.88	77.37	2.3	73.37	73.51	73.88	77.09	0.5705	8.38	0.27	2.00	7.22	3.86
monte salto	19	97.18	75.28	2.3	73.28	73.48	73.79	75.24	0.1875	5.88	0.39	2.00	4.25	1.80
valle salto	20	97.38	75.28	2.3	71.28	71.42	71.79	75.00	0.5702	8.38	0.27	2.00	7.22	3.86

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
monte salto	21	101.68	73.19	2.3	71.19	71.39	71.70	73.15	0.1874	5.88	0.39	2.00	4.25	1.80
valle salto	22	101.88	73.19	2.3	69.19	69.33	69.70	72.91	0.5701	8.38	0.27	2.00	7.22	3.86
monte salto	23	106.18	71.10	2.3	69.10	69.30	69.61	71.06	0.1874	5.88	0.39	2.00	4.25	1.80
valle salto	24	106.38	71.10	2.3	67.10	67.24	67.61	70.81	0.5701	8.38	0.27	2.00	7.22	3.86
monte salto	25	110.68	69.01	2.3	67.01	67.21	67.52	68.97	0.1874	5.88	0.39	2.00	4.25	1.80
valle salto	26	110.88	69.01	2.3	65.51	65.66	66.02	68.78	0.4587	7.82	0.29	2.00	6.51	3.35
monte salto	27	115.18	67.42	2.3	65.42	65.63	65.93	67.23	0.1614	5.61	0.41	2.00	3.95	1.79
valle salto	28	115.38	67.42	2.3	63.92	64.07	64.43	67.04	0.4242	7.63	0.30	2.00	6.28	3.35
Fine T. scapolare 2X2	29	126.89	65.69	2.3	63.69	63.96	64.20	64.86	0.0658	4.19	0.55	2.00	2.55	1.73

Tabella 5 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

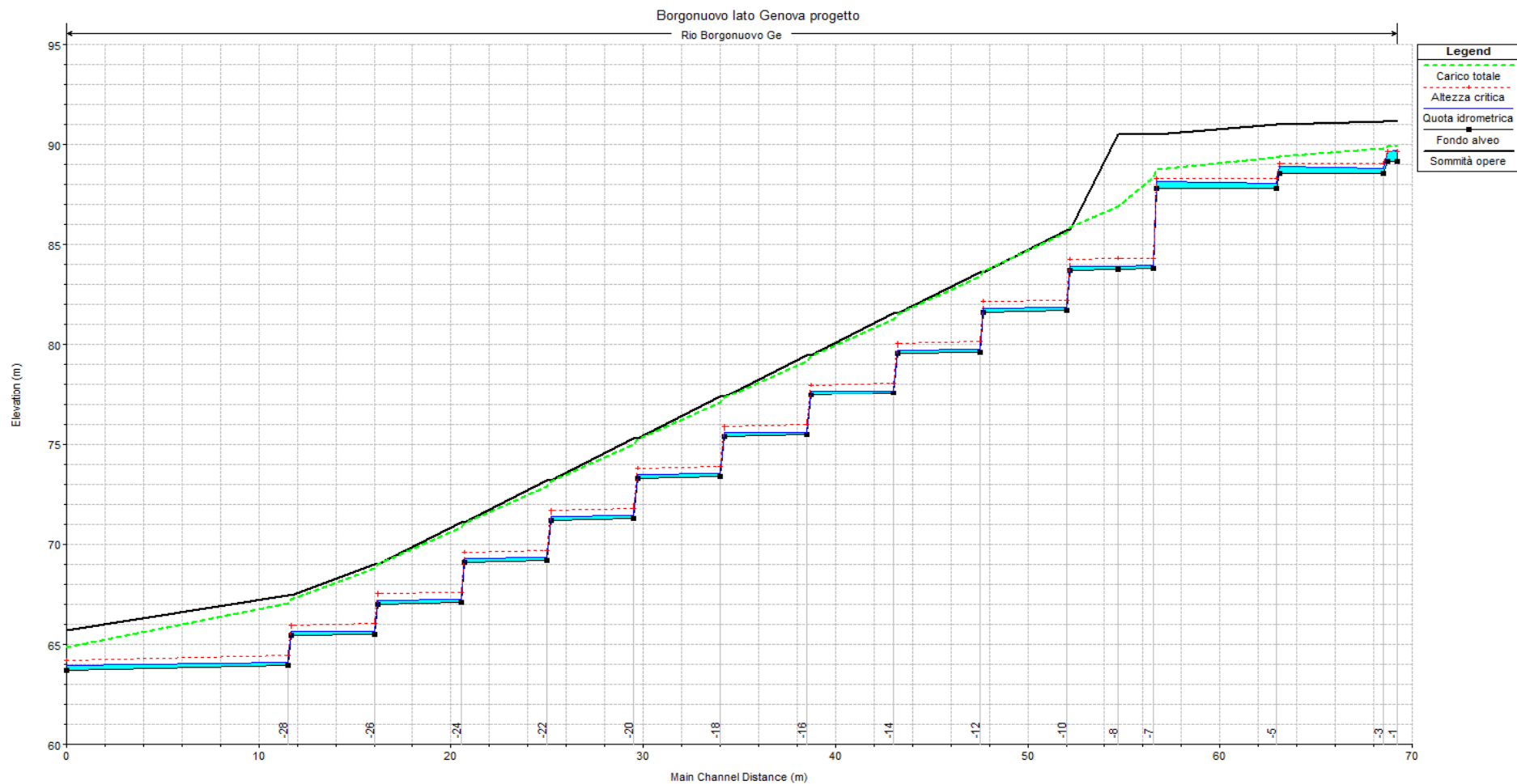


Figura 4 – Profilo idrometrico a tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

5. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA VOLTRI LATO SAVONA

5.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Voltri lato Savona (vedi Figura 5) ha una superficie $S = 0.036 \text{ km}^2$ e secondo la gerarchizzazione idrografica prevista dal Regolamento Regionale N.3 appartiene al reticolo minuto.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

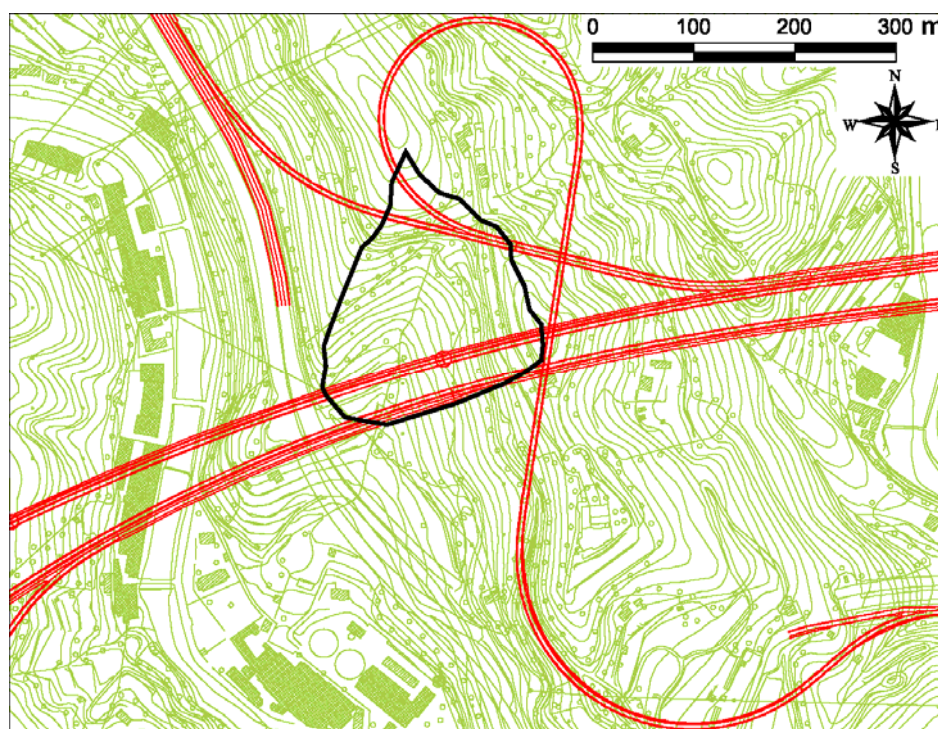


Figura 5 – Bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Voltri lato Savona.

5.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

5.2.1 Stato di progetto

La simulazione eseguita per lo stato di progetto schematizza gli interventi di sistemazione idraulica previsti sul rio che viene canalizzato tramite la realizzazione di un canale in c.a. e successivamente da una tombinatura scatolare.

Il modello idraulico è composto da 27 sezioni trasversali (costituite dalle sezioni tipo di sistemazione indicate sul profilo longitudinale di progetto), che descrivono geometricamente gli interventi previsti sul corso d'acqua per un'estensione di circa 97.0 m. La sistemazione prevista è caratterizzata dai seguenti interventi:

- vasca di controllo del trasporto solido prevista a monte della sistemazione, di estensione pari a 12.0 m e larghezza trasversale di 3.0 m;
- manufatto scatolare in c.a., di dimensioni BxH 2.00xvar. 3.60/3.20 m, estensione pari a 7.50 m e pendenza del 5%;
- canale in c.a. a geometria rettangolare di dimensioni BxH=2.0xvar.3.6-6.0 m, esso si sviluppa per un'estensione pari a 14.1 m compiendo 2 salti di fondo caratterizzati da pendenza del 5%;
- tombino scatolare in cls di dimensioni BxH= 2.0x2.0 m avente uno sviluppo complessivo pari a 52.00 m; esso, per tutta la sua lunghezza, è caratterizzato da una pendenza del 5.0 % con la presenza di 7 salti di fondo di altezza variabile da 1.0 a 2.0 m.

Di seguito (Tabella 6) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
inizio vasca controllo trasporto solido	1	37.07	95.46	93.46
monte salto	2	37.57	95.46	93.46
valle salto	3	37.77	95.46	91.36
monte salto	4	43.17	94.40	91.36
valle salto	5	43.37	94.40	90.28
monte salto (fine vasca controllo trasporto solido)	6	49.61	92.85	90.28
inizio scatolare in c.a. valle salto	7	49.81	92.85	86.14
	8	52.01	88.11	86.11
canale in c.a monte salto	9	62.80	87.60	85.60
valle salto	10	63.00	87.60	84.60
fine canale monte salto	11	70.80	86.20	84.20
inizio scatolare 2X2 valle salto	12	71.00	86.20	83.20
monte salto	13	78.80	84.80	82.80
valle salto	14	79.00	84.80	81.80
monte salto	15	86.80	83.40	81.40
valle salto	16	87.00	83.40	79.40
monte salto	17	94.80	81.00	79.00
valle salto	18	95.00	81.00	77.00
monte salto	19	102.80	78.60	76.60
valle salto	20	103.00	78.60	74.60
monte salto	21	110.80	76.20	74.20
valle salto	22	111.00	76.20	72.20
monte salto	23	118.80	73.80	71.80
valle salto	24	119.00	73.80	69.80
fine scatolare 2X2 monte salto	25	126.80	71.40	69.40
inizio canale valle salto	26	127.00	71.40	67.40

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
fine canale	27	133.72	69.40	66.90

Tabella 6 - Profilo longitudinale del rio nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione, rappresenta il corso d'acqua sistemato così come riportato negli elaborati di progetto IDR 0106 e 0131.

5.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 1.50 m³/s e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 37.07 m;
- scala di deflusso imposta nella sezione di valle (sez.27) a progressiva 133.72 m.

5.4 Coefficienti di resistenza distribuita

In accordo con il Regolamento Regionale per i tratti di canale e di tombino scatolare si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a 45 m^{1/3} s⁻¹ (0.022 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning).

5.5 Verifica nella situazione di progetto

Dalla simulazione eseguita si può evincere che l'intero tratto tombinato ha un franco di sicurezza sempre superiore a 1.67 m.

La sezione di tombinatura prevista rispetta le prescrizioni del Regolamento Regionale che prevede una dimensione areale non inferiore a 3.0 m².

Le opere in progetto sono adeguate idraulicamente in quanto il franco di sicurezza è sempre superiore a 0.5 m per la sezione di attraversamento (tombinatura) e a 0.3 m per il tratto della vasca di sedimentazione e del canale in c.a.

Di seguito (Tabella 7 e Figura 6) si riportano i risultati della simulazione eseguita rispettivamente in forma tabulare e grafica, che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
inizio vasca controllo trasporto solido	1	37.07	95.46	1.50	93.46	93.79	93.75	93.91	0.007	1.53	0.98	3.00	0.86	1.67
monte salto	2	37.57	95.46	1.50	93.46	93.75	93.75	93.90	0.009	1.70	0.88	3.00	1.00	1.71
valle salto	3	37.77	95.46	1.50	91.36	91.44	91.65	93.68	0.718	6.64	0.23	3.00	7.73	4.02
monte salto	4	43.17	94.40	1.50	91.36	91.50	91.65	92.13	0.091	3.52	0.43	3.00	2.98	2.90
valle salto	5	43.37	94.40	1.50	90.28	90.37	90.57	92.00	0.424	5.66	0.27	3.00	6.07	4.03
monte salto (fine vasca controllo trasporto solido)	6	49.61	92.85	1.50	90.28	90.45	90.57	90.91	0.055	3.00	0.50	3.00	2.35	2.40
inizio scatolare in c.a. valle salto	7	49.81	92.85	1.50	86.14	86.19	86.43	90.49	2.072	9.18	0.16	3.00	12.56	6.66
	8	52.01	88.11	1.50	86.11	86.23	86.49	88.20	0.365	6.21	0.24	2.00	5.71	1.88
canale in c.a monte salto	9	62.80	87.60	1.50	85.60	85.81	85.98	86.45	0.062	3.55	0.42	2.00	2.46	1.79
valle salto	10	63.00	87.60	1.50	84.60	84.73	84.98	86.33	0.262	5.60	0.27	2.00	4.89	2.87
fine canale monte salto	11	70.80	86.20	1.50	84.20	84.40	84.58	85.10	0.071	3.70	0.40	2.00	2.63	1.80
inizio scatolare 2X2 valle salto	12	71.00	86.20	1.50	83.20	83.33	83.58	84.98	0.275	5.69	0.26	2.00	5.00	2.87
monte salto	13	78.80	84.80	1.50	82.80	83.00	83.18	83.71	0.073	3.73	0.40	2.00	2.65	1.80
valle salto	14	79.00	84.80	1.50	81.80	81.93	82.18	83.59	0.277	5.70	0.26	2.00	5.02	2.87
monte salto	15	86.80	83.40	1.50	81.40	81.60	81.78	82.31	0.073	3.73	0.40	2.00	2.65	1.80
valle salto	16	87.00	83.40	1.50	79.40	79.51	79.78	82.09	0.564	7.12	0.21	2.00	7.00	3.89
monte salto	17	94.80	81.00	1.50	79.00	79.18	79.38	80.04	0.099	4.11	0.37	2.00	3.07	1.82
valle salto	18	95.00	81.00	1.50	77.00	77.10	77.38	79.81	0.609	7.30	0.21	2.00	7.26	3.90
monte salto	19	102.80	78.60	1.50	76.60	76.78	76.98	77.66	0.102	4.16	0.36	2.00	3.12	1.82
valle salto	20	103.00	78.60	1.50	74.60	74.70	74.98	77.43	0.616	7.32	0.20	2.00	7.30	3.90
monte salto	21	110.80	76.20	1.50	74.20	74.38	74.58	75.26	0.103	4.16	0.36	2.00	3.13	1.82
valle salto	22	111.00	76.20	1.50	72.20	72.30	72.58	75.03	0.616	7.32	0.20	2.00	7.30	3.90
monte salto	23	118.80	73.80	1.50	71.80	71.98	72.18	72.86	0.103	4.16	0.36	2.00	3.13	1.82

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
valle salto	24	119.00	73.80	1.50	69.80	69.90	70.18	72.63	0.617	7.32	0.20	2.00	7.30	3.90
fine scatolare 2X2 monte salto	25	126.80	71.40	1.50	69.40	69.58	69.78	70.46	0.103	4.16	0.36	2.00	3.13	1.82
inizio canale valle salto	26	127.00	71.40	1.50	67.40	67.50	67.78	70.23	0.617	7.32	0.20	2.00	7.30	3.90
fine canale	27	133.72	69.40	1.50	66.90	67.07	67.28	68.09	0.129	4.48	0.34	2.00	3.49	2.33

Tabella 7 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

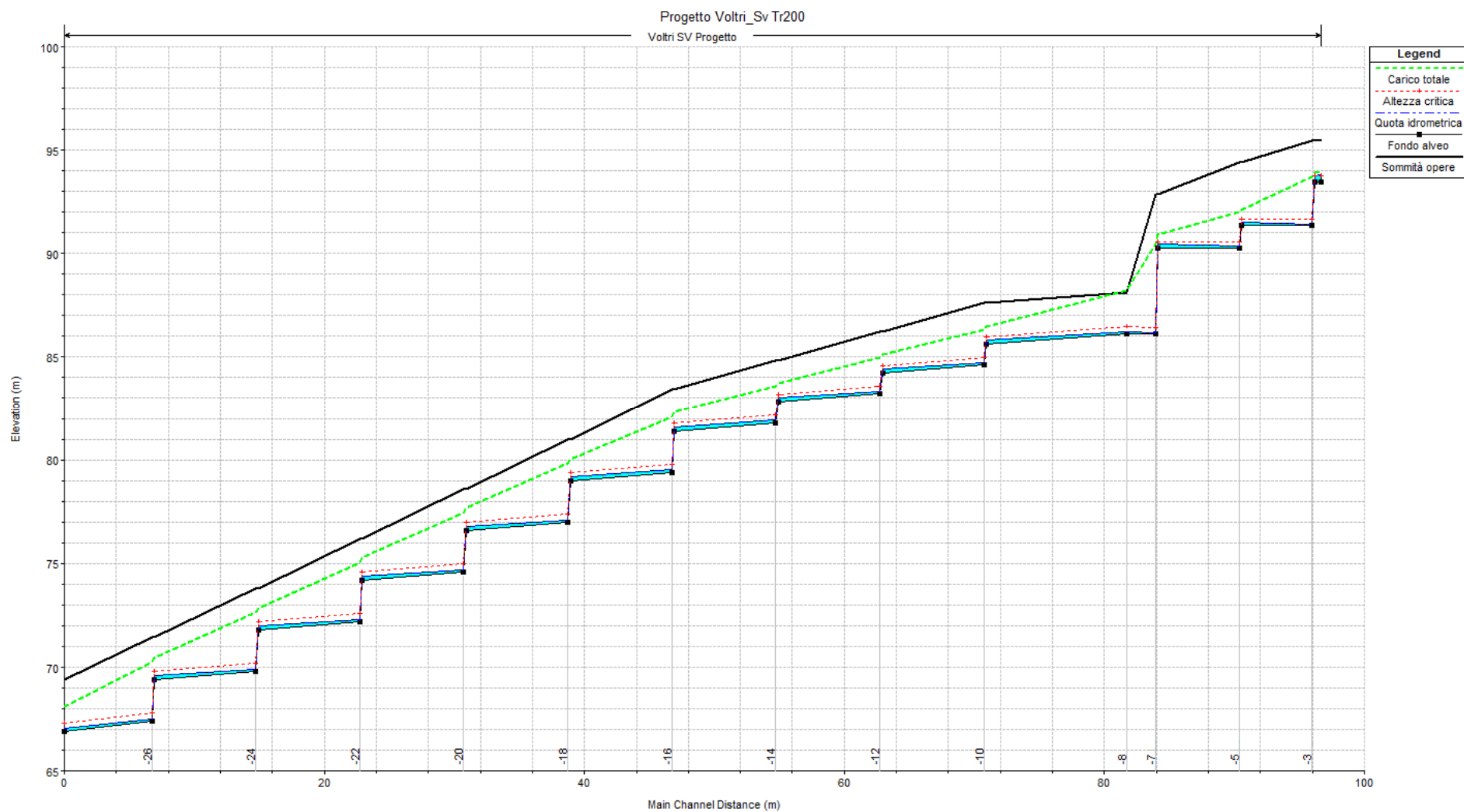


Figura 6 – Profilo idrometrico a tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

6. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA VOLTRI LATO GENOVA

6.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Voltri lato Genova (vedi Figura 7) ha una superficie $S = 0.11 \text{ km}^2$ e secondo la gerarchizzazione idrografica prevista dal Regolamento Regionale N.3, appartiene al reticolo di terzo livello.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 4.5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

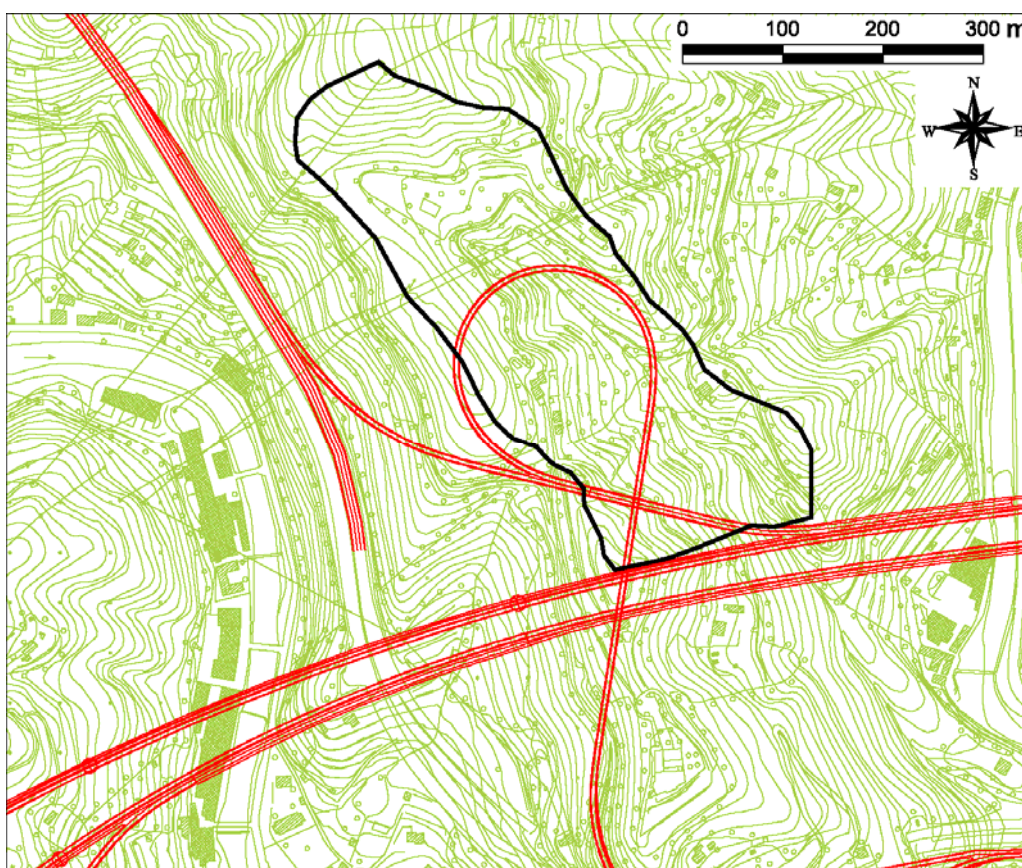


Figura 7 – Bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Voltri lato Genova.

6.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

6.2.1 Stato di progetto

La simulazione eseguita per lo stato di progetto schematizza gli interventi previsti sul rio che viene canalizzato tramite una sistemazione idraulica costituita:

- da una vasca di controllo del trasporto solido localizzata all'inizio del tratto di progetto; essa ha un'estensione di 12.0 m e una larghezza di 3.0 m;
- a valle della vasca è prevista la realizzazione di un canale in c.a. di sezione geometrica rettangolare avente dimensioni BxH=2.0xvar. 2.5-4.5 m; il canale si sviluppa per un'estensione pari a 15.50 m compiendo 3 salti di fondo secondo una pendenza del 10%;
- successivamente è prevista una tombinatura scatolare di dimensioni BxH=2.0x2.5 m, avente pendenza del 3% e lunghezza complessiva di 83.2 m; nel tratto sono presenti 4 salti di fondo;
- nel tratto terminale è prevista la riprofilatura e il rivestimento dell'alveo inciso in gabbioni metallici per uno sviluppo d'asta di 28.3 m secondo una pendenza del 3%, nel tratto sono presenti 4 salti di fondo.

Il modello idraulico è composto da 36 sezioni trasversali (costituite dalle sezioni tipo di sistemazione indicate sul profilo longitudinale di progetto), che descrivono geometricamente gli interventi previsti sul corso d'acqua per un'estensione di 152.0 m.

Di seguito (Tabella 8) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
inizio vasca controllo trasporto solido	1	11.60	83.90	81.40
monte salto	2	12.10	83.90	81.40
valle salto	3	12.30	83.90	81.28
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	4	24.60	83.78	81.28
inizio canale valle salto	5	24.80	83.78	79.78
monte salto	6	28.60	82.49	79.38
valle salto	7	28.80	82.49	78.08
monte salto	8	33.60	80.90	77.58
valle salto	9	33.80	80.90	76.28
monte salto	10	37.60	79.62	75.89
valle salto	11	37.80	79.58	74.50
fine canale/inizio scatolare	12	40.02	76.98	74.50
monte salto	13	62.50	76.31	73.81

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
valle salto	14	62.70	74.81	72.31
monte salto	15	85.40	74.13	71.63
valle salto	16	85.60	72.63	70.13
monte salto	17	99.40	72.21	69.71
valle salto	18	99.60	70.61	68.11
monte salto	19	113.50	70.18	67.68
valle salto	20	113.70	68.58	66.08
fine scatolare/inizio gabbioni	21	122.80	68.40	65.90
	22	127.30	68.27	65.77
monte salto	23	128.30	68.27	65.77
valle salto	24	128.50	67.77	65.27
	25	132.80	67.63	65.13
monte salto	26	133.80	67.63	65.13
valle salto	27	134.00	67.13	64.63
	28	138.30	67.00	64.50
monte salto	29	139.30	67.00	64.50
valle salto	30	139.50	66.50	64.00
	31	143.80	66.36	63.86
monte salto	32	144.80	66.36	63.86
valle salto	33	145.00	65.86	63.36
fine gabbioni	34	151.10	65.68	63.18
alveo naturale	35	156.12	63.39	60.14
alveo naturale	36	163.72	63.15	59.19

Tabella 8 - Profilo longitudinale del rio nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione, rappresenta il corso d'acqua sistemato così come riportato nell'elaborato di progetto IDR 0107.

6.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 4.5 m³/s e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 11.60 m;
- scala di deflusso imposta nella sezione naturale di valle (sez.36) a progressiva 163.72 m.

6.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per il tratto sistemato in gabbioni metallici si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.033 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

Per il tratto di vasca di sedimentazione, canale a cielo aperto e tombino scatolare si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

Per il tratto naturale di valle (sez. 1 e 2) si è assunta una scabrezza di $25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.04 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

6.5 Verifica nella situazione di progetto

Dalla simulazione eseguita si può evincere che la piena è sempre abbondantemente contenuta nelle tipologie di sistemazione previste, con un franco minimo di 1.79 m nella sez.3 (vasca di sedimentazione); le sezioni di tombinatura rispettano le dimensioni minime areali ($>3.0 \text{ m}^2$) prescritte dal Regolamento sopraccitato.

Il franco di sicurezza nel tratto a cielo aperto è sempre superiore sia al valore minimo tabulare fissato in 0.5 m che a quello costituito dalla semi altezza cinetica; tale criterio è soddisfatto anche per il tratto di tombinatura il cui franco non deve essere inferiore ad 1.0 m e comunque alla semi altezza cinetica.

Di seguito (Tabella 9 e Figura 8) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
inizio vasca controllo trasporto solido	1	11.60	83.90	4.50	81.40	82.06	82.01	82.32	0.007	2.28	1.97	3.00	0.90	1.84
monte salto	2	12.10	83.90	4.50	81.40	82.03	82.01	82.32	0.008	2.40	1.88	3.00	0.97	1.87
valle salto	3	12.30	83.90	4.50	81.28	82.11		82.28	0.004	1.80	2.50	3.00	0.63	1.79
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	4	24.60	83.78	4.50	81.28	81.89	81.89	82.20	0.009	2.46	1.83	3.00	1.01	1.89
inizio canale valle salto	5	24.80	83.78	4.50	79.78	80.15	80.58	82.04	0.103	6.09	0.74	2.00	3.20	3.63
monte salto	6	28.60	82.49	4.50	79.38	79.75	80.18	81.64	0.104	6.10	0.74	2.00	3.21	2.74
valle salto	7	28.80	82.49	4.50	78.08	78.37	78.88	81.49	0.219	7.83	0.57	2.00	4.66	4.12
monte salto	8	33.60	80.90	4.50	77.58	77.90	78.38	80.42	0.159	7.04	0.64	2.00	3.97	3.00
valle salto	9	33.80	80.90	4.50	76.28	76.54	77.08	80.26	0.286	8.54	0.53	2.00	5.31	4.36
monte salto	10	37.60	79.62	4.50	75.89	76.19	76.69	79.13	0.200	7.60	0.59	2.00	4.46	3.43
valle salto	11	37.80	79.58	4.50	74.50	74.75	75.30	78.95	0.345	9.08	0.50	2.00	5.82	4.83
fine canale/inizio scatolare	12	40.02	76.98	4.50	74.50	74.73	75.25	78.05	0.241	8.08	0.56	2.00	4.88	2.25
monte salto	13	62.50	76.31	4.50	73.81	74.30	74.61	75.38	0.046	4.62	0.97	2.00	2.11	2.01
valle salto	14	62.70	74.81	4.50	72.31	72.63	73.11	75.22	0.165	7.13	0.63	2.00	4.06	2.18
monte salto	15	85.40	74.13	4.50	71.63	72.14	72.43	73.12	0.039	4.38	1.03	2.00	1.95	1.99
valle salto	16	85.60	72.63	4.50	70.13	70.45	70.93	72.96	0.157	7.01	0.64	2.00	3.95	2.18
monte salto	17	99.40	72.21	4.50	69.71	70.17	70.51	71.39	0.054	4.89	0.92	2.00	2.30	2.04
valle salto	18	99.60	70.61	4.50	68.11	68.41	68.91	71.21	0.185	7.41	0.61	2.00	4.29	2.20

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
monte salto	19	113.50	70.18	4.50	67.68	68.13	68.48	69.42	0.059	5.04	0.89	2.00	2.41	2.05
valle salto	20	113.70	68.58	4.50	66.08	66.38	66.88	69.24	0.192	7.50	0.60	2.00	4.37	2.20
fine scatolare/inizio gabbioni	21	122.80	68.40	4.50	65.90	66.37	66.70	67.54	0.095	4.80	0.94	2.00	2.24	2.03
	22	127.30	68.27	4.50	65.77	66.34	66.55	67.05	0.066	3.76	1.20	3.00	1.90	1.93
monte salto	23	128.30	68.27	4.50	65.77	66.33	66.52	66.97	0.056	3.55	1.27	3.00	1.75	1.94
valle salto	24	128.50	67.77	4.50	65.27	65.74	66.05	66.91	0.094	4.78	0.94	2.00	2.23	2.03
	25	132.80	67.63	4.50	65.13	65.69	65.91	66.43	0.069	3.81	1.18	3.00	1.94	1.94
monte salto	26	133.80	67.63	4.50	65.13	65.68	65.88	66.34	0.058	3.60	1.25	3.00	1.78	1.95
valle salto	27	134.00	67.13	4.50	64.63	65.10	65.41	66.28	0.096	4.82	0.93	2.00	2.25	2.03
	28	138.30	67.00	4.50	64.50	65.06	65.28	65.80	0.069	3.81	1.18	3.00	1.94	1.94
monte salto	29	139.30	67.00	4.50	64.50	65.05	65.25	65.71	0.058	3.60	1.25	3.00	1.78	1.95
valle salto	30	139.50	66.50	4.50	64.00	64.47	64.78	65.65	0.096	4.81	0.93	2.00	2.25	2.03
	31	143.80	66.36	4.50	63.86	64.42	64.64	65.17	0.071	3.84	1.17	3.00	1.96	1.94
monte salto	32	144.80	66.36	4.50	63.86	64.41	64.61	65.08	0.059	3.62	1.24	3.00	1.80	1.95
valle salto	33	145.00	65.86	4.50	63.36	63.83	64.14	65.01	0.097	4.83	0.93	2.00	2.26	2.03
fine gabbioni	34	151.10	65.68	4.50	63.18	63.77	63.96	64.41	0.056	3.55	1.27	3.00	1.74	1.91
alveo naturale	35	156.12	63.39	4.5	60.14	60.54	61.03	63.52	0.575537	7.65	0.59	2.03	4.53	-
alveo naturale	36	163.72	63.15	4.5	59.19	59.75	60.08	60.92	0.157287	4.79	0.94	2.41	2.45	-

Tabella 9 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

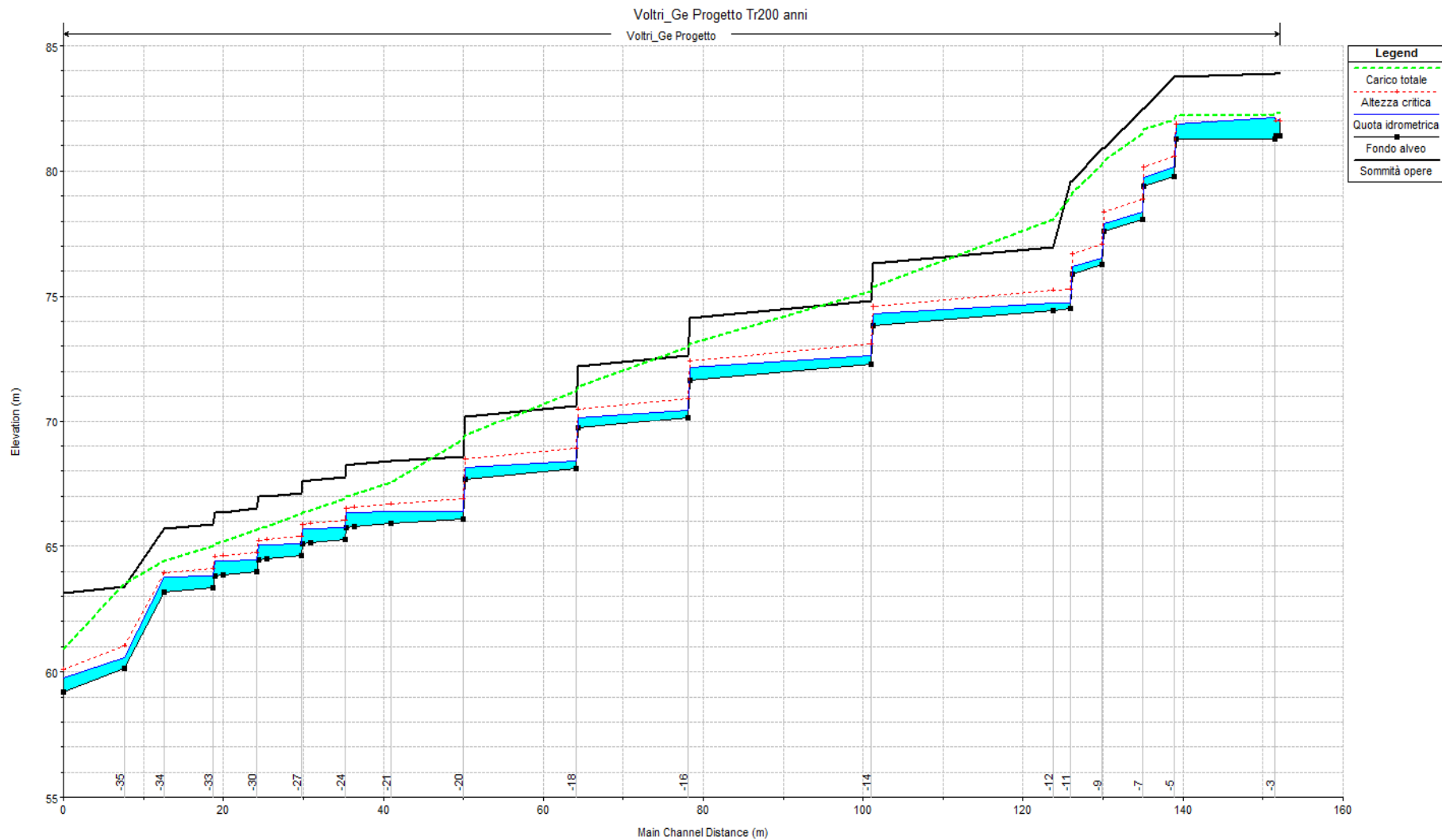


Figura 8 – Profilo idrometrico a tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

7. INTERFERENZA RIO AFFLUENTE DEL TORRENTE LEIRO

7.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio affluente del torrente Leiro (vedi Figura 9) ha una superficie $S = 0.091 \text{ km}^2$ e secondo la gerarchizzazione idrografica prevista dal Regolamento Regionale N. 3 appartiene al reticolo minuto.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 3.7 \text{ m}^3/\text{s}.$$

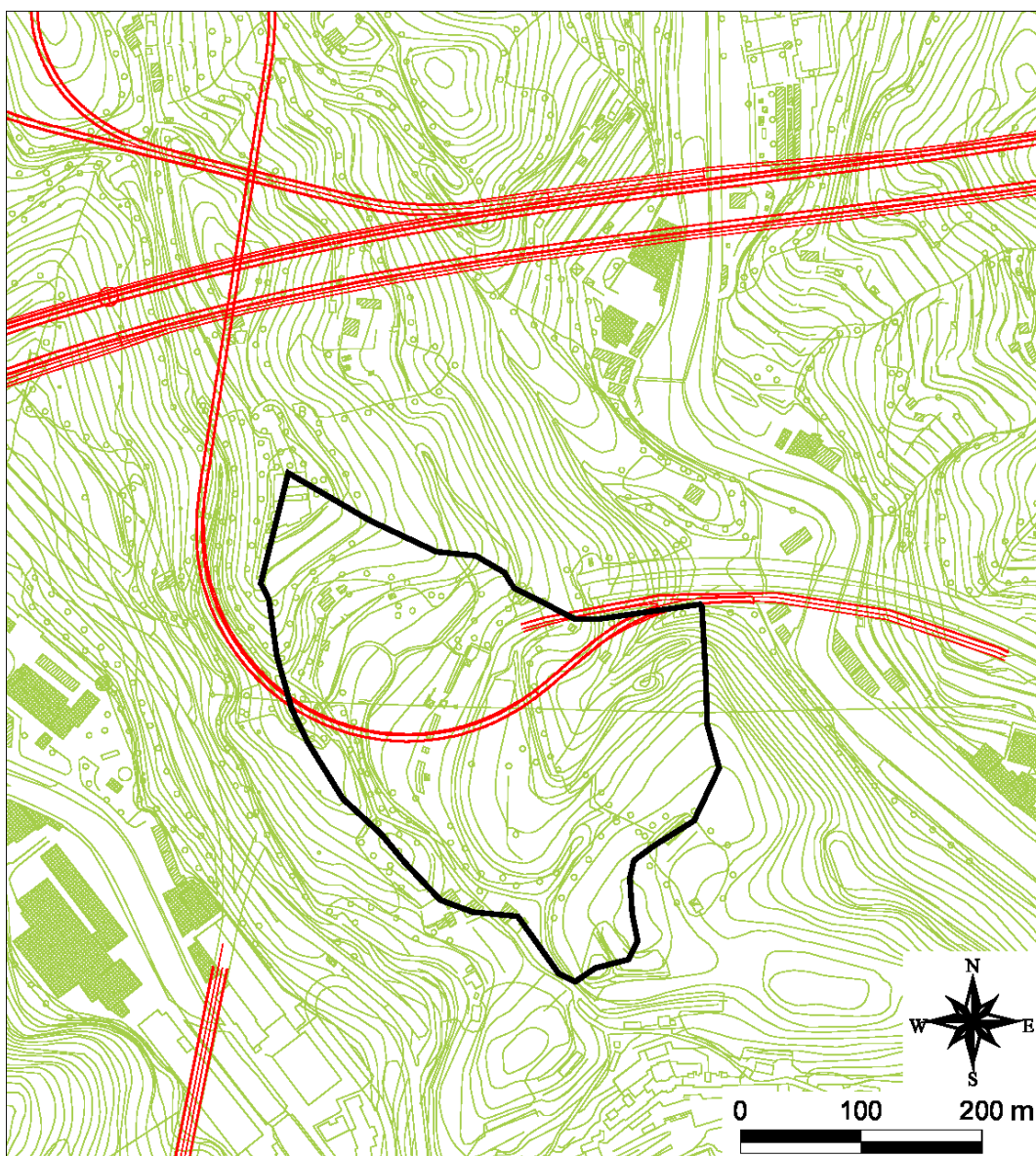


Figura 9 – Bacino imbrifero del rio affluente del torrente Leiro.

7.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

7.2.1 Stato di progetto

La simulazione eseguita per lo stato di progetto schematizza gli interventi previsti sul rio affluente del Leiro, costituiti dalla canalizzazione del corso d'acqua tramite la realizzazione di un canale rettangolare in c.a. di estensione pari a 36.8 m, dimensioni BxH=2.0xvar.2.0-5.5 m e pendenza di fondo variabile tra valori di 2 e 8%. A monte del canale è prevista una vasca di controllo del trasporto solido di estensione pari a 10.0 m e larghezza trasversale di 3.0 m.

Il modello idraulico è composto da 16 sezioni trasversali (costituite dalla sezione tipo di sistemazione indicata sul profilo longitudinale di progetto), che descrivono geometricamente gli interventi previsti sul corso d'acqua per un'estensione di circa 47.3 m.

Di seguito (Tabella 10) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	5.56	47.79	45.79
inizio vasca controllo trasporto solido monte salto	2	6.06	47.79	45.79
valle salto	3	6.26	47.79	43.23
	4	11.31	45.83	43.23
	5	11.51	45.83	40.66
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	6	16.06	42.74	40.66
inizio canale valle salto	7	16.26	42.74	39.16
monte salto	8	18.62	41.37	39.10
valle salto	9	18.82	41.37	37.50
monte salto	10	21.18	40.00	37.46
valle salto	11	21.38	40.00	35.86
monte salto	12	43.09	37.41	35.38
valle salto	13	43.29	37.41	32.88
monte salto	14	47.58	35.51	32.48
valle salto	15	47.78	35.51	29.98
fine canale	16	52.84	31.56	29.55

Tabella 10 - Profilo longitudinale del rio minore nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione, rappresenta il corso d'acqua sistemato così come riportato nell'elaborato di progetto IDR 0130.

7.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a $3.70 \text{ m}^3/\text{s}$ e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 5.56 m;
- scala di moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez.16) a progressiva 52.84 m.

7.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per la sistemazione prevista, caratterizzata da opere di rivestimento in cls, si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning); tale assunzione è congruente con i valori previsti all'interno del Regolamento Regionale.

7.5 Verifica nella situazione di progetto

Dalla simulazione eseguita si può evincere che la piena è sempre abbondantemente contenuta nelle tipologie di sistemazione previste, con un franco di sicurezza sempre superiore a 1.4 m (sezione di inizio modello a monte della vasca di sedimentazione).

La sezione di sistemazione prevista è congruente con le prescrizioni del Regolamento Regionale.

Le opere in progetto sono adeguate idraulicamente in quanto il franco di sicurezza è sempre superiore a 0.3 m per il tratto della vasca di sedimentazione e di canale in c.a.

Di seguito (Tabella 11) e (Figura 10) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
	1	5.56	47.79	3.70	45.79	46.39	46.33	46.61	0.01	2.04	1.81	3.00	0.84	1.40
inizio vasca controllo trasporto solido monte salto	2	6.06	47.79	3.70	45.79	46.33	46.33	46.60	0.01	2.30	1.61	3.00	1.01	1.46
valle salto	3	6.26	47.79	3.70	43.23	43.39	43.77	46.32	0.36	7.59	0.49	3.00	6.01	4.40
	4	11.31	45.83	3.70	43.23	43.46	43.77	44.92	0.12	5.35	0.69	3.00	3.55	2.37
	5	11.51	45.83	3.70	40.66	40.80	41.20	44.63	0.55	8.67	0.43	3.00	7.34	5.03
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	6	16.06	42.74	3.70	40.66	40.86	41.20	42.74	0.18	6.06	0.61	3.00	4.29	1.88
inizio canale valle salto	7	16.26	42.74	3.70	39.16	39.39	39.86	42.56	0.28	7.88	0.47	2.00	5.20	3.35
monte salto	8	18.62	41.37	3.70	39.10	39.37	39.80	41.82	0.19	6.94	0.53	2.00	4.29	2.00
valle salto	9	18.82	41.37	3.70	37.50	37.71	38.20	41.62	0.38	8.76	0.42	2.00	6.09	3.66
monte salto	10	21.18	40.00	3.70	37.46	37.70	38.16	40.61	0.24	7.56	0.49	2.00	4.88	2.30
valle salto	11	21.38	40.00	3.70	35.86	36.06	36.56	40.40	0.45	9.23	0.40	2.00	6.59	3.94
monte salto	12	43.09	37.41	3.70	35.38	35.78	36.08	36.85	0.05	4.58	0.81	2.00	2.30	1.63
valle salto	13	43.29	37.41	3.70	32.88	33.10	33.58	36.59	0.32	8.27	0.45	2.00	5.58	4.31
monte salto	14	47.58	35.51	3.70	32.48	32.74	33.18	35.25	0.19	7.01	0.53	2.00	4.36	2.77
valle salto	15	47.78	35.51	3.70	29.98	30.17	30.68	34.96	0.52	9.70	0.38	2.00	7.09	5.34
fine canale	16	52.84	31.56	3.70	29.55	29.80	30.25	32.67	0.24	7.51	0.49	2.00	4.83	1.76

Tabella 11 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nella situazione di progetto.

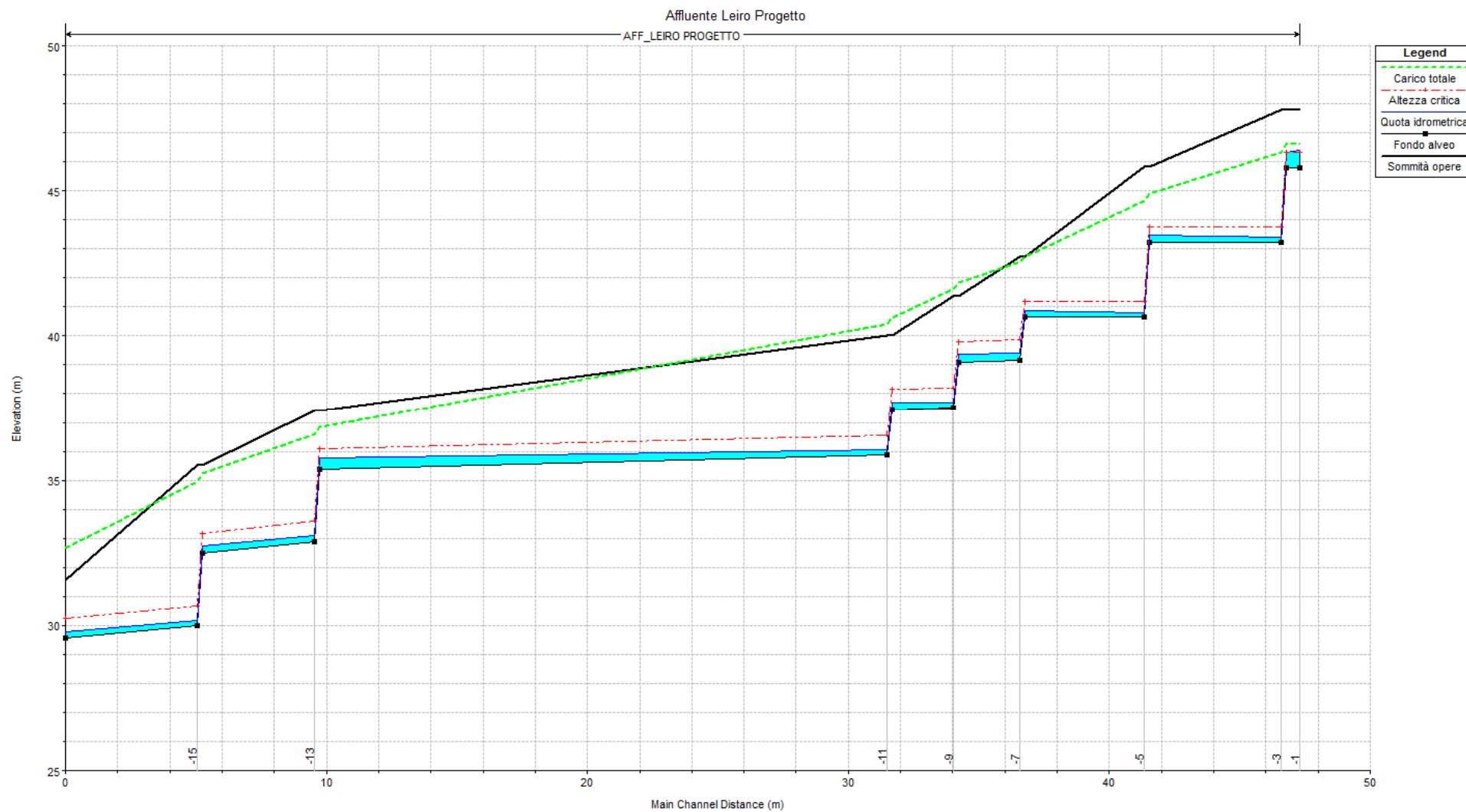


Figura 10 – Profilo idrometrico a tempo di ritorno 200 anni nella situazione di progetto.

8. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MONTEROSSO LATO SAVONA E VIA CARPENARA

8.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del torrente Lavino interferente con l'imbocco della galleria Monterosso lato Savona e la via Carpenara (vedi Figura 11) ha una superficie $S = 0.53 \text{ km}^2$ e secondo la gerarchizzazione idrografica prevista dal Regolamento regionale esso appartiene al reticolo di 2° livello.

Il valore della portata di piena di progetto ($TR = 200$ anni) del corso d'acqua in esame alla confluenza nel torrente Varenna, tratto direttamente dalla tabella riassuntiva delle portate di assegnato tempo di ritorno contenuta nel Piano di bacino del torrente Varenna¹, risulta pari a

$$Q_{\text{progetto}} = 33.0 \text{ m}^3/\text{s}.$$

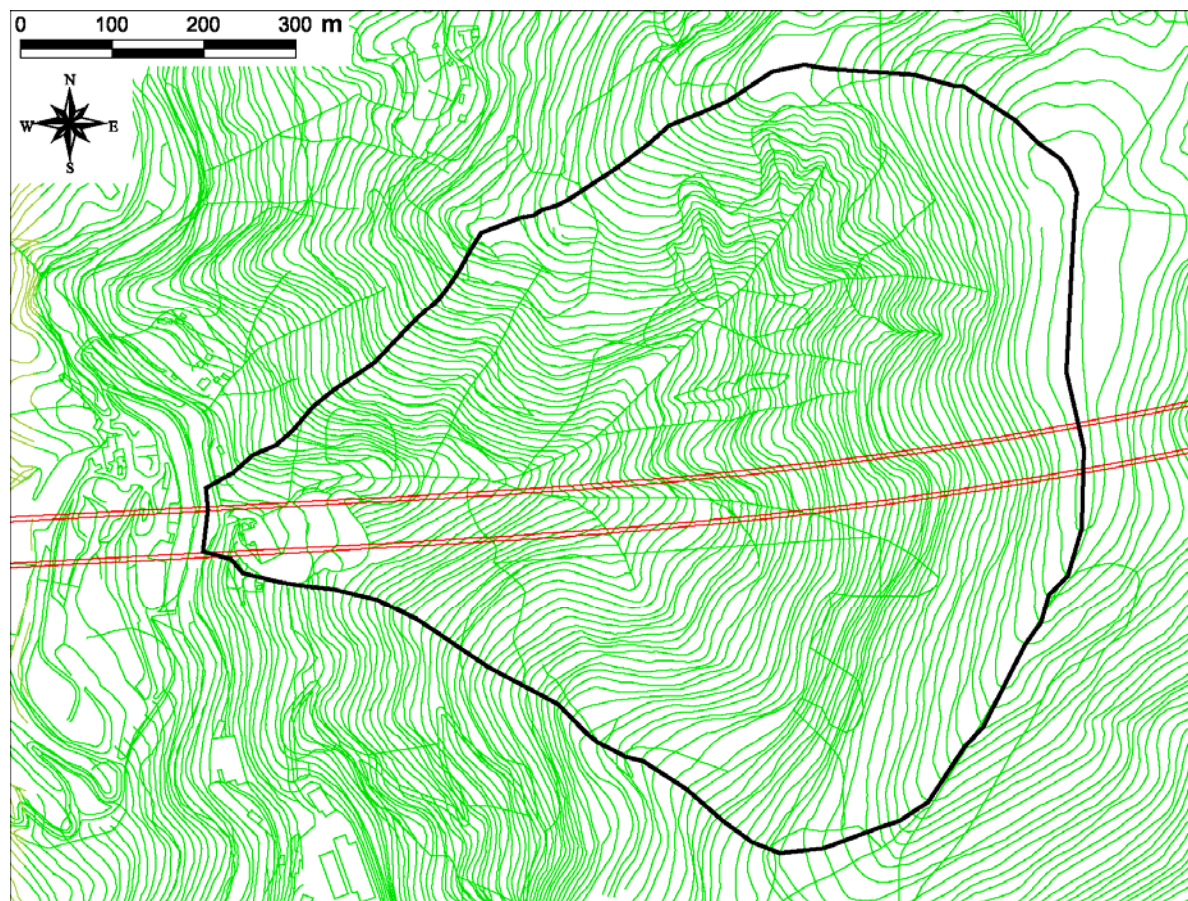


Figura 11 – Bacino imbrifero del rio Lavino interferente con l'imbocco della galleria Monterosso lato Savona e la via Carpenara.

¹ Provincia di Genova, Comitato Tecnico Provinciale – Torrente Varenna, Piano di bacino stralcio per la difesa idrogeologica, geomorfologica, per la salvaguardia della rete idrografica e per la compatibilità delle attività estrattive – Allegato 2, Pluviometria e idrometria.

8.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

8.2.1 Stato attuale

Il rio Lavino è affluente di sinistra del torrente Varenna; l'analisi idraulica ha riguardato proprio la parte terminale del rio prima della sua confluenza, poiché interessato dalla realizzazione degli imbocchi della galleria Monterosso lato Savona.

Il corso d'acqua scorre incassato in un fondovalle stretto e molto ripido, incidendo al piede i versanti esistenti che lo limitano sia in sinistra che in destra idraulica. Nel tratto in analisi non vi sono abitati a rischio idraulico di esondazione, l'unica interferenza riscontrabile è quella dell'attraversamento della via Carpenara, ubicato in corrispondenza della confluenza del Lavino in Varenna.

Il corso d'acqua è caratterizzato da una pendenza di fondo molto elevata, variabile secondo valori compresi tra il 10 e 34%.

Di seguito (Tabella 12) si riporta il profilo longitudinale di stato attuale in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg) e sponde.

Note	Sezione modello	Progressiva	Sponda SX	Sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	-2.50	138.00	138.00	135.14
	2	4.92	137.00	137.00	134.36
	3	22.46	134.00	134.00	131.17
	4	44.98	130.00	130.00	127.40
	5	85.26	120.53	121.00	117.00
	6	105.52	112.80	114.80	110.15
monte ponte via Carpenara	7	124.93	107.72	109.60	106.00
	7.5		Bridge		
valle ponte via Carpenara	8	132.93	106.82	108.70	105.10

Tabella 12 – Profilo longitudinale del rio Lavino nelle condizioni di stato attuale.

8.2.2 Stato di progetto

La simulazione dello stato di progetto schematizza la sistemazione prevista sul corso d'acqua; in particolare gli interventi previsti riducono in modo importante la pendenza del corso d'acqua rispetto allo stato attuale,

prevedendo una sistemazione a salti di fondo di pendenza pari al 2%; il tratto tombinato di attraversamento dell'infrastruttura minore in progetto ha pendenza pari all'1.5%.

L'intervento di canalizzazione è stato simulato introducendo nel modello 27 sezioni trasversali che ne rappresentano le tipologie di sistemazione.

In particolare la sistemazione prevista è costituita:

- da una vasca di controllo del trasporto solido localizzata in testa alla sistemazione; essa ha un'estensione longitudinale di 12.0 m e larghezza di 4.0 m;
- da un tratto di canale in c.a. e massi di cava di estensione complessiva di 83.0 m avente pendenza costante pari al 2%; la sezione del canale è di geometria trapezia avente larghezza in sommità pari a 4.9 m, alla base di 3.5 m e altezza media variabile tra valori di 3.3 e 6.0 m;
- da un tratto di tombino scatolare di dimensioni BxH=4.00xvar. 4.0-6.5 m, estensione di 9.5 m e pendenza del 2%;
- da un ultimo tratto di attraversamento costituito da un manufatto scatolare di dimensioni BxH=5.0x3.0 m, estensione di circa 27.0 m e pendenza pari all'1.5%.

Di seguito, nella Tabella 13, si riporta il profilo longitudinale del modello di stato di progetto del Lavino in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica e quota di fondo (thalweg).

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
inizio vasca controllo trasporto solido	1	-2.50	138.14	135.14
monte salto	2	-2.00	138.14	135.14
valle salto	3	-1.80	138.14	134.29
fine vasca controllo trasporto solido				
monte salto	4	10.50	137.88	134.29
inizio canale valle salto	5	10.70	137.88	132.78
monte salto	6	20.00	136.60	132.60
valle salto	7	20.20	136.60	131.10
monte salto	8	29.99	134.90	130.90
valle salto	9	30.19	134.90	128.90
monte salto	10	39.99	132.20	128.70
valle salto	11	40.19	132.20	126.20
monte salto	12	49.99	129.50	126.00
valle salto	13	50.19	129.50	123.50
monte salto	14	59.99	126.80	123.30
valle salto	15	60.19	126.80	120.80
monte salto	16	69.99	123.90	120.60
valle salto	17	70.19	123.90	118.10
inizio t. scatolare 4x4 monte salto	18	92.98	121.64	117.64
valle salto	19	93.18	121.64	115.14
monte salto	20	95.98	121.58	115.08

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
valle salto	21	96.18	121.58	112.58
monte salto	22	98.98	116.52	112.52
valle salto	23	99.18	116.52	110.02
monte salto	24	102.49	113.96	109.96
fine t. scatolare 4x4 valle salto	25	102.69	113.96	103.66
T. scatolare 5X3	26	105.52	106.65	103.65
T. scatolare 5X3	27	132.93	106.24	103.22

Tabella 13 - Profilo longitudinale del rio nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione, rappresenta il corso d'acqua sistemato così come riportato nell'elaborato di progetto IDR 0111.

8.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 33.0 m³/s e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1);
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle.

La validità della condizione al contorno di valle è assicurata dal fatto che la massima quota idrometrica sul Varenna pari a 102.77 m s.m. generata dalla portata a tempo di ritorno 200 anni (sezione 5 nello scenario di stato attuale – si veda il paragrafo 18.5 della presente relazione) non interferisce con il deflusso del torrente Lavino.

8.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per i tratti naturali si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a 25-30 m^{1/3} s⁻¹ (0.04-0.033 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning)

Per il tratto di canale realizzato in c.a. e massi di cava si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a 35 m^{1/3} s⁻¹ (0.028 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning) mentre per i tratti di tombino scatolare si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a 45 m^{1/3} s⁻¹ (0.022 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning), in accordo con il Regolamento Regionale.

8.5 Verifica nella situazione attuale

Come detto in precedenza lungo il torrente Lavino non vi sono aree soggette ad alcun rischio idraulico; la piena di riferimento transita contenuta nell'alveo inciso secondo un moto in corrente veloce, caratterizzata da elevatissime velocità comprese tra valori di 5.6 e 9.95 m/s (non si è considerato il valore di 3.41 m/s nella sezione di inizio modello per l'imposizione dell'altezza critica). Il deflusso avviene quindi con valori del carico cinetico (variabili tra 1.6 e 5.0 m) e sollecitazioni sulla struttura d'alveo molto elevati.

Il ponte della via Carpenara, localizzato in corrispondenza del nodo di confluenza, ha un franco di 1.65 m in considerazione di una quota di intradosso di 108.4 m s.m. confrontata con una quota idrometrica di 106.75 m s.m. Il manufatto risulta adeguato rispetto alle indicazioni tabulari fornite dal Regolamento Regionale ma non rispetto al carico cinetico che ha valore di 3.75 m. Tale manufatto verrà ricostruito nell'ambito della realizzazione della Gronda.

Di seguito (Tabella 14 e Figura 12) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Note	Sezione modello	Progressiva	Sponda SX	Sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)
	1	-2.50	138.00	138.00	33	135.14	137.06	137.06	137.65	0.0198	3.41	9.69	8.22	1.00
	2	4.92	137.00	137.00	33	134.36	135.72	136.22	137.31	0.0656	5.59	5.91	6.26	1.84
	3	22.46	134.00	134.00	33	131.17	132.40	133.20	135.47	0.1550	7.76	4.25	5.36	2.78
	4	44.98	130.00	130.00	33	127.40	128.43	129.27	131.75	0.1739	8.07	4.09	5.12	2.88
	5	85.26	120.53	121.00	33	117.00	118.48	119.32	122.53	0.3089	9.01	3.78	5.88	3.48
	6	105.52	112.80	114.80	33	110.15	111.06	112.04	116.10	0.3161	9.95	3.32	4.90	3.86
monte ponte via Carpenara	7	124.93	107.72	109.60	33	106.00	106.75	107.53	110.50	0.2312	8.58	3.85	6.67	3.49
	7.5		Bridge											
valle ponte via Carpenara	8	132.93	106.82	108.70	33	105.10	105.89	106.61	108.89	0.1949	7.67	4.30	6.83	3.09

Tabella 14 - Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nella situazione di stato attuale.

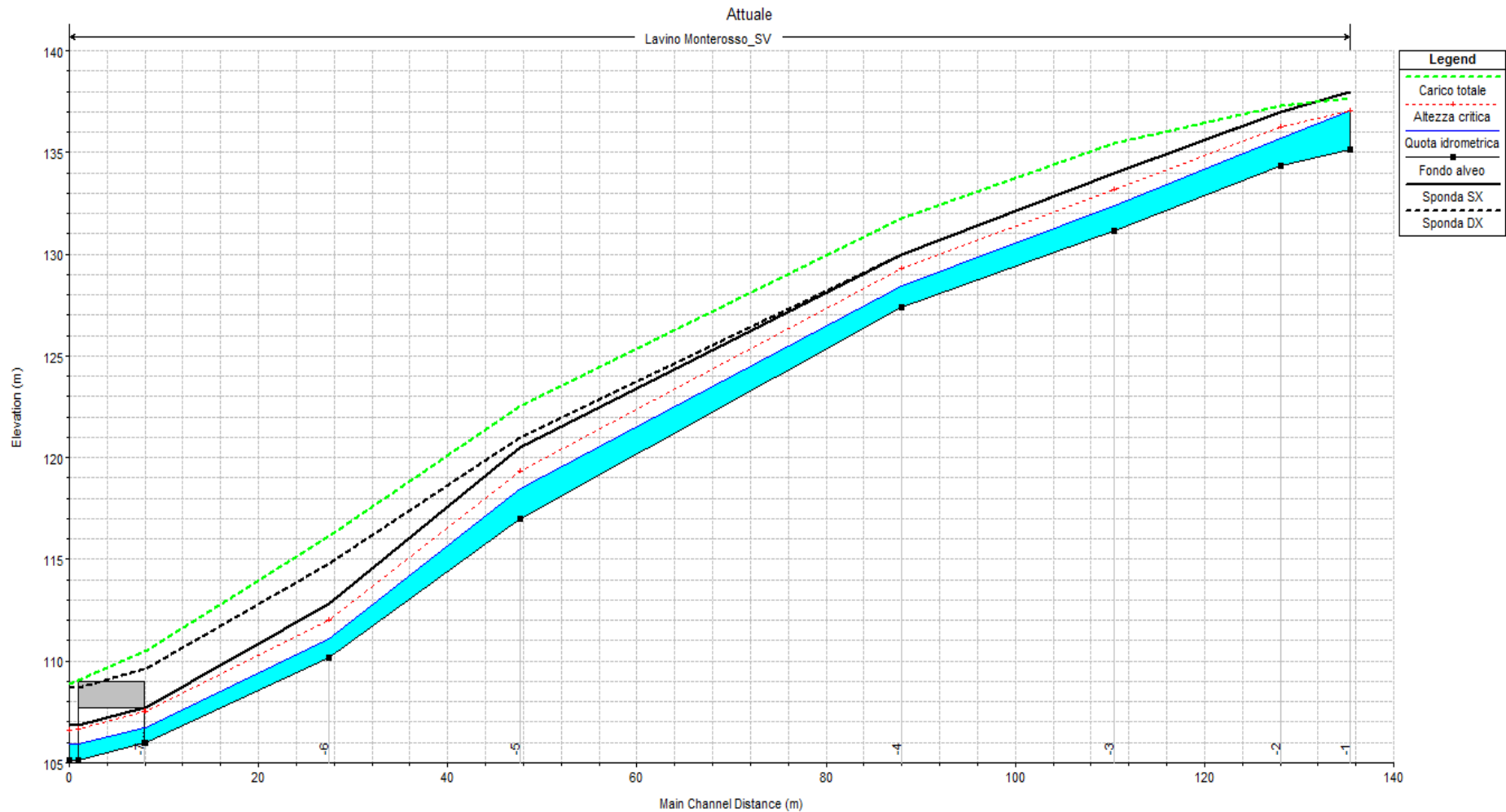


Figura 12 - Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nella situazione di stato attuale.

8.6 Verifica nella situazione di progetto

Come detto in precedenza la sistemazione idraulica prevista nell'ambito del progetto autostradale migliora il funzionamento idraulico dell'asta fluviale rispetto allo stato attuale, regolarizzando il deflusso, stabilizzando morfologicamente l'alveo e riducendo le pendenze di fondo (valori pari al 2%).

Dalla simulazione eseguita si può evincere che la piena è sempre abbondantemente contenuta nelle tipologie di sistemazione previste, con un franco minimo di 1.09 m nella sez.1 (vasca di controllo del trasporto solido) in cui si è imposta l'altezza critica. Il restante tratto ha un franco di sicurezza sempre superiore a 2.0 m.

Le sezioni di sistemazione previste nel progetto sono congruenti con quanto previsto dal Regolamento che fissa per gli attraversamenti dimensioni minime di 2.0x2.0 m.

La sistemazione è sempre verificata idraulicamente in riferimento ai franchi di sicurezza tabulati dal Regolamento, e cioè ha franchi superiori a 1.0 m per i tratti a cielo aperto e a 2.0 m per quelli tombinati; per quanto attiene ai carichi cinetici, vi sono 2 tratti di sistemazione in cui il carico cinetico supera il franco di sicurezza, in particolare:

- tra le sezioni 10 e 17 in cui il carico cinetico è maggiore del franco idraulico per valori compresi tra un minimo di 0.16 m (sez.11) ed un massimo di 1.23 m (sez.16);
- tra le sezioni 22 e 27 in cui il carico cinetico è maggiore del franco idraulico per valori sempre superiori a 2.50 m.

Per quanto attiene ai due tratti sopra menzionati vanno fatte le seguenti considerazioni:

- il tratto di corso d'acqua compreso tra le sez.10-17 è a cielo aperto; esso ha un franco di sicurezza calcolato rispetto all'altezza critica mai inferiore a 1.31 m (sez.16) e il riempimento delle opere (rapporto tra il tirante idrico e l'altezza del manufatto) non è mai superiore al 34 % (sez.10); ne consegue che il rischio idraulico delle opere non è elevato in quanto se raggiunto, il valore dell'altezza critica, la corrente dissiperebbe in modo significativo la sua energia con conseguente drastica riduzione del termine $v^2/2g$ (si tenga conto che in ragione dei franchi rispetto all'altezza critica non esistono rischi di sormonto/occlusione dell'opera anche in presenza di un risalto idraulico); in aggiunta va detto che stante i valori di riempimento risultanti dalla simulazione le opere risultano impegnate mediamente per meno di 1/3 della loro dimensione verticale;
- il tratto di corso d'acqua tombinato compreso tra le sezioni 22 e 27 ha altresì franchi di sicurezza calcolati rispetto all'altezza critica mai inferiori a 1.36 m (sez.26) con riempimenti delle opere mai superiori al 22.5% (sez.27); il rischio connesso ad un suo anomalo funzionamento è pertanto da considerarsi basso.

Di seguito (Tabella 15 e Figura 13) si riportano i risultati della simulazione rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)	(-)	(m)
inizio vasca controllo trasporto solido	1	-2.50	138.14	33	135.14	137.05	137.05	138.03	0.0161	3.91	8.43	4.00	0.86	1.09
monte salto	2	-2.00	138.14	33	135.14	137.05	137.05	138.00	0.0211	4.33	7.63	4.00	1.00	1.09
valle salto	3	-1.80	138.14	33	134.29	135.51	136.20	137.85	0.0728	6.79	4.86	4.00	1.96	2.63
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	4	10.50	137.88	33	134.29	136.20	136.20	137.15	0.0211	4.33	7.62	4.00	1.00	1.68
inizio canale valle salto	5	10.70	137.88	33	132.78	133.96	134.81	136.94	0.0968	7.65	4.31	3.82	2.30	3.92
monte salto	6	20.00	136.60	33	132.60	134.02	134.61	135.98	0.0537	6.20	5.33	4.00	1.71	2.58
valle salto	7	20.20	136.60	33	131.10	132.18	133.13	135.79	0.1272	8.43	3.92	3.77	2.64	4.42
monte salto	8	29.99	134.90	33	130.90	132.22	132.91	134.52	0.0672	6.72	4.91	3.96	1.93	2.68
valle salto	9	30.19	134.90	33	128.90	129.88	130.93	134.28	0.1683	9.30	3.55	3.73	3.04	5.02
monte salto	10	39.99	132.20	33	128.70	129.90	130.70	132.64	0.0858	7.33	4.50	3.98	2.20	2.30
valle salto	11	40.19	132.20	33	126.20	127.10	128.23	132.36	0.2174	10.16	3.25	3.71	3.47	5.10
monte salto	12	49.99	129.50	33	126.00	127.12	128.00	130.30	0.1057	7.89	4.18	3.95	2.45	2.38
valle salto	13	50.19	129.50	33	123.50	124.37	125.53	130.02	0.2410	10.53	3.13	3.70	3.65	5.13
monte salto	14	59.99	126.80	33	123.30	124.39	125.30	127.76	0.1149	8.13	4.06	3.94	2.55	2.41
valle salto	15	60.19	126.80	33	120.80	121.66	122.83	127.48	0.2518	10.69	3.09	3.70	3.74	5.14
monte salto	16	69.99	123.90	33	120.60	121.68	122.59	125.13	0.1192	8.23	4.01	3.96	2.61	2.22
valle salto	17	70.19	123.90	33	118.10	118.95	120.13	124.85	0.2567	10.76	3.07	3.71	3.78	4.95
inizio t. scolare 4x4 monte salto	18	92.98	121.64	33	117.64	118.99	119.65	121.18	0.0627	6.55	5.04	3.97	1.86	2.65
valle salto	19	93.18	121.64	33	115.14	115.98	117.05	120.89	0.0938	9.81	3.36	4.00	3.42	5.66
monte salto	20	95.98	121.58	33	115.08	115.95	116.99	120.55	0.0853	9.50	3.47	4.00	3.25	5.63
valle salto	21	96.18	121.58	33	112.58	113.28	114.49	120.28	0.1588	11.72	2.82	4.00	4.46	8.30
monte salto	22	98.98	116.52	33	112.52	113.25	114.43	119.70	0.1404	11.25	2.93	4.00	4.19	3.27
valle salto	23	99.18	116.52	33	110.02	110.65	111.93	119.43	0.2231	13.13	2.51	4.00	5.29	5.87
monte salto	24	102.49	113.96	33	109.96	110.62	111.87	118.47	0.1884	12.41	2.66	4.00	4.86	3.34

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
fine t. scatolare 4x4 valle salto	25	102.69	113.96	33	103.66	104.16	105.57	117.83	0.4372	16.38	2.01	4.00	7.37	9.80
T. scatolare 5X3	26	105.52	106.65	33	103.65	104.08	105.29	116.10	0.4353	15.36	2.15	5.00	7.48	2.57
T. scatolare 5X3	27	132.93	106.24	33	103.22	103.90	104.86	108.73	0.1062	9.74	3.39	5.00	3.78	2.34

Tabella 15 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del rio Lavino nello stato di progetto.

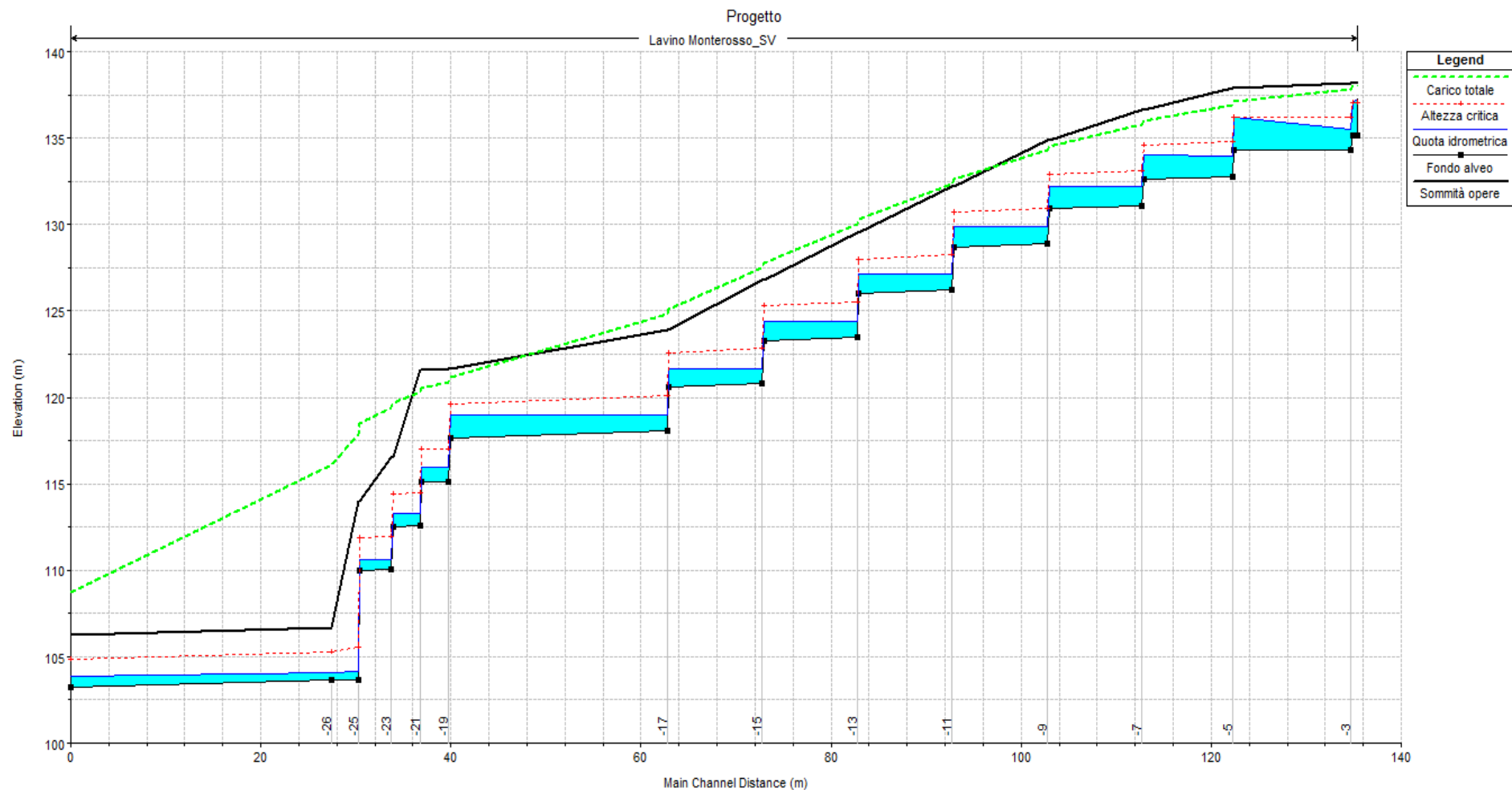


Figura 13 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del rio Lavino nello stato di progetto..

9. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MONTEROSSO LATO GENOVA

9.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio (denominato Ronco) interferente con l'imbocco della galleria Monterosso lato Genova (vedi Figura 14) ha una superficie $S = 0.18 \text{ km}^2$ e secondo la gerarchizzazione prevista dal Regolamento Regionale N.3 appartiene al reticolo di 3° livello.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 7.2 \text{ m}^3/\text{s}.$$

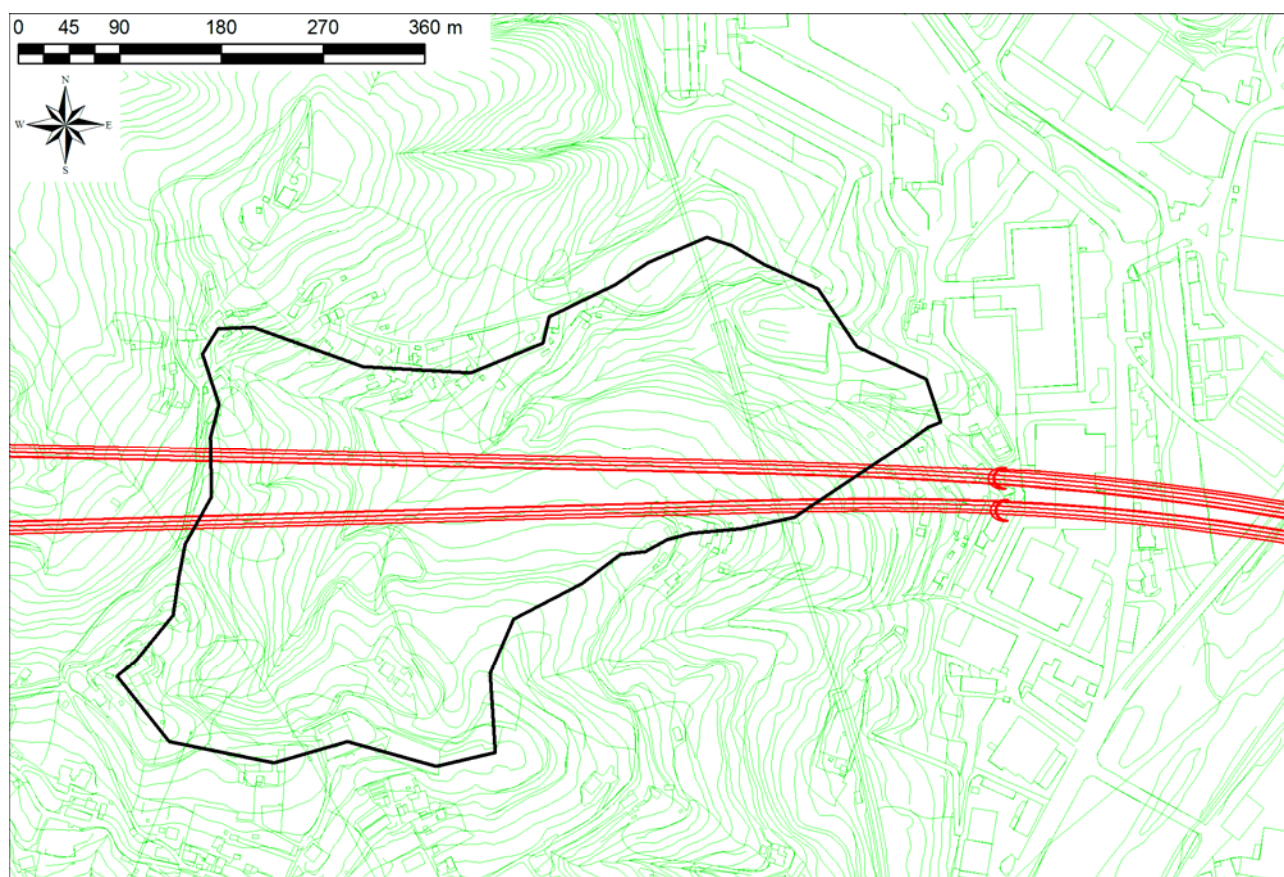


Figura 14 – Bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Monterosso lato Genova.

Cautelativamente nelle verifiche idrauliche del solo stato di progetto, al valore di portata di riferimento del rio Ronco, si considera concomitante l'ingresso della portata di piattaforma con TR = 100 anni uscente dal presidio posto nel piazzale d'imbocco della galleria Monterosso lato Genova il cui valore risulta pari a $2.139 \text{ m}^3/\text{s}$.

9.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

9.2.1 Stato attuale

La geometria del rio Ronco è stata descritta sulla base del rilievo topografico eseguito nell'anno 2012.

Esso è composto da 18 sezioni trasversali di rilievo che descrivono geometricamente il corso d'acqua per un'estensione complessiva di 443 m; in aggiunta è inoltre disponibile un piano quotato realizzato nell'intero tratto d'interesse che ha permesso di definire nel dettaglio il comportamento idrodinamico dell'asta torrentizia.

Nel tratto di monte, caratterizzato da un'elevata pendenza di fondo alveo, il corso d'acqua è controllato altimetricamente da opere trasversali (briglie); nel tratto terminale (da valle di sez.12) la pendenza di fondo si riduce ed il corso d'acqua viene canalizzato da un tratto di tombinatura di estensione pari a circa 183 m. Il tratto tombinato è costituito inizialmente da uno scatolare di sezione BxH=1.7x1.6 m che termina immediatamente a monte della confluenza in Burba, con una sezione circolare di diametro 1.0 m.

Il tratto d'asta compreso tra le sez.7 e 10 presenta delle opere di contenimento dei livelli (muri arginali) in sinistra idraulica che si sono rivelate adeguate a smaltire la portata di riferimento.

Di seguito (Tabella 16 e Figura 15) si riporta il profilo longitudinale del modello del Ronco in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg) e posizione dei manufatti presenti in alveo; in Figura 15 si riporta la localizzazione planimetrica delle sezioni (rosso), l'asse del corso d'acqua (blu) e l'estensione del tratto tombinato (colore azzurro).

Note	Sezione di modello	Progressiva	Sommità sponda SX	Sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	0.00	90.39	91.38	83.18
	2	23.52	90.46	92.11	82.28
	3	33.34	90.70	94.65	81.40
	4	60.61	90.86	95.11	79.58
opera 13	5.1 monte briglia	96.87	79.50	80.97	74.28
opera 14	5.2 valle briglia	97.37	79.50	80.97	72.94
	6	122.36	77.78	77.37	71.15
opera 12	6.5 monte briglia	132.92	75.22	74.81	70.88
opera 12	6.6 valle briglia	133.42	75.22	74.81	68.59
	7	143.36	70.69	72.58	68.17
	8	147.4	70.66	71.50	67.92
opera 11	8.5 monte briglia	153.4	69.04	69.88	67.42
opera 11	8.6 valle briglia	153.9	69.04	69.88	66.30
	9	164.77	67.60	69.00	65.99
opera 10	9.5 monte briglia	172.04	67.30	68.70	65.69

Note	Sezione di modello	Progressiva	Sommità sponda SX	Sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
opera 10	9.6 valle briglia	172.54	67.30	68.70	64.19
	10	179.3	66.33	67.24	64.10
	11	197.39	65.12	62.20	56.15
	12	209.18	59.35	59.91	54.57
	13	229.7	56.42	57.71	53.51
	14	249.43	54.58	54.46	52.84
opera 2	15 monte scatolare	259.75	53.89	53.89	52.19
			Bridge		
opera 3	16 valle scatolare	440	49.79	49.80	48.59
circolare d=1 m	17 monte tombino	441	50.03	50.03	48.58
			Culvert		
circolare d=1 m	18 valle tombino	443	49.99	49.99	48.54

Tabella 16 - Profilo longitudinale del corso d'acqua nelle condizioni di stato attuale.

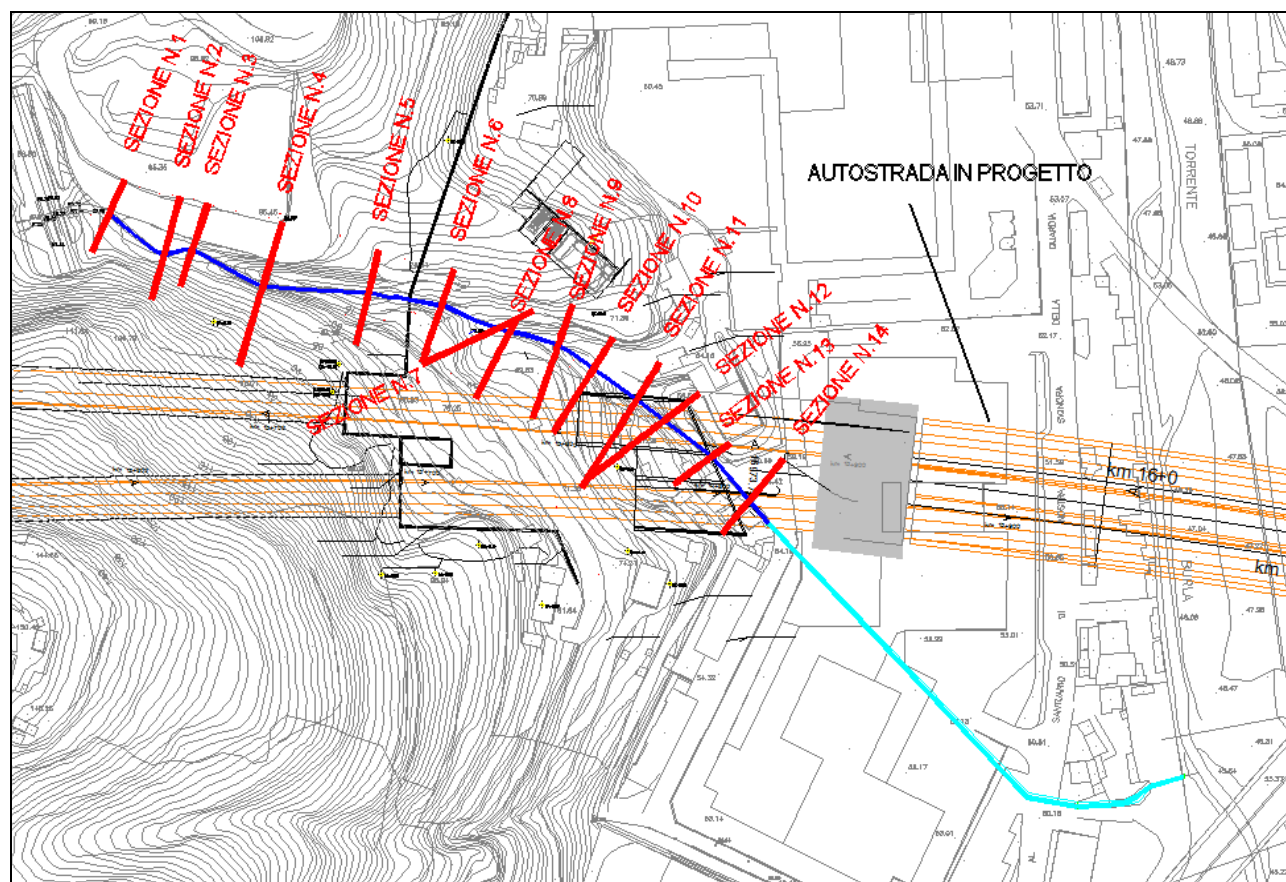


Figura 15 – Planimetria del corso d'acqua simulato con rappresentazione delle sezioni trasversali di rilievo (rosso), dei tratti tombinati (azzurro) e dell'asse del corso d'acqua (blu).

In corrispondenza delle strutture la sezione di rilievo che le rappresenta è stata duplicata per esigenze di modellizzazione.

9.2.2 Stato di progetto

Data l'elevata criticità idraulica esistente per lo stato attuale, si prevede la deviazione del rio Ronco in sinistra idraulica rispetto all'attuale tracciato d'alveo.

La simulazione eseguita per lo stato di progetto schematizza gli interventi previsti sul rio Ronco che prevedono una sua canalizzazione tramite la seguente sistemazione:

- nel tratto più a monte da una riprofilatura e da un rivestimento dell'alveo inciso in gabbioni metallici (lunghezza 67.0 m); il rivestimento viene realizzato con pendenza di fondo pari al 2% con 6 salti di fondo di altezza 1.0 m;
- successivamente è prevista una vasca di controllo del trasporto solido di estensione di 12.0 m, larghezza trasversale di 5.0 m;
- è quindi previsto un tratto di attraversamento costituito da un tombino circolare di diametro pari a 2.5 m realizzato con la tecnica del microtunneling, per la necessità di sottopassare nel tratto in deviazione un'area tutelata dal Ministero dei Beni Attività Culturali su cui sono presenti edifici di importanza storica; tale tombinatura viene realizzata con pendenza pari al 2% secondo uno sviluppo di 74.5 m;
- la tombinatura, si connette successivamente ad un tratto di canale rettangolare in c.a. e massi di cava di dimensioni BxH=2.0x2.0 m di lunghezza di 75.80 m e pendenza del 2%;
- il canale si immette infine in un tombino scatolare in cls di dimensioni BxH=2.0x2.0 m di lunghezza pari a 39.8 m e pendenza del 2%.

Il modello idraulico è composto di 30 sezioni trasversali (costituite dalle sezioni tipo di sistemazione indicate sul profilo longitudinale di progetto), che descrivono geometricamente gli interventi previsti sul corso d'acqua per un'estensione di circa 281.0 m.

Di seguito (Tabella 17) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Sommità sponda /intradosso opera	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
gabbioni	1	0.00	78.70	76.00
monte salto	2	1.00	78.70	76.00
valle salto	3	1.20	78.00	75.30
monte salto	4	2.00	78.00	75.30
valle salto	5	2.20	77.30	74.60
monte salto	6	3.00	77.30	74.60
valle salto	7	3.20	76.60	73.90
monte salto	8	4.00	76.60	73.90

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Sommità sponda /intradosso opera	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
valle salto	9	4.20	75.60	72.90
monte salto	10	29.30	75.02	72.32
valle salto	11	29.50	75.02	71.32
monte salto	12	34.30	73.92	71.22
valle salto	13	34.50	73.92	70.22
monte salto	14	39.30	72.82	70.12
valle salto	15	39.50	72.82	69.12
monte salto	16	44.30	71.72	69.02
valle salto	17	44.50	71.72	68.02
monte salto	18	49.30	70.62	67.92
valle salto	19	49.50	70.62	66.92
monte salto	20	54.30	69.52	66.82
valle salto	21	54.50	69.52	65.82
monte salto	22	67.01	68.30	65.57
valle salto (vasca trasporto solido)	23	67.21	68.30	65.02
monte salto (sfioro vasca)	24	78.81	68.30	65.02
valle salto	25	79.21	68.30	55.13
imbocco circolare D=2.5 m	26	83.01	57.63	55.13
			Culvert	
sbocco circolare D=2.5 m	27	157.4	56.12	53.62
valle salto inizio canale in c.a.	28	157.6	56.12	51.79
fine canale - inizio scatolare	29	241.18	52.27	50.27
fine scatolare	30	280.95	51.48	49.48

Tabella 17 - Profilo longitudinale del rio Ronco nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione, rappresenta il corso d'acqua sistemato così come riportato nell'elaborato di progetto IDR 0113.

9.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno inserite nel modello per lo stato attuale sono le seguenti:

- portata di piena del rio Ronco per TR200 di valore al colmo costante pari a 7.20 m³/s e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 0.00 m;
- altezza di moto uniforme nella sezione terminale del tombino circolare (in questo caso come livello di valle non è stato assegnato quello del Burba, in quanto il deflusso del tombino sul rio Ronco avviene in pressione anche ipotizzando il Burba in condizioni di alveo asciutto e quindi vi è una disconnessione idraulica del profilo di piena).

Le condizioni al contorno inserite nel modello per lo stato di progetto sono le seguenti:

- portata di piena del rio Ronco per TR200 di valore al colmo costante pari a $7.20 \text{ m}^3/\text{s}$ e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 0.00 m;
- incremento di portata pari a $2.14 \text{ m}^3/\text{s}$, dovuto all'apporto di piena con TR=100 anni relativa allo scarico del "Presidio idraulico n. 8";
- altezza idrometrica con TR=200 anni alla confluenza nel Burba pari a 50.70 m s.m. imposta nella sezione terminale (sez.30) a progressiva 280.95 m; tale valore è stato desunto dagli elaborati del Piano di bacino, per interpolazione lineare dei livelli idrici che si generano tra le sezioni denominate BUR3 e BUR2 al passaggio della piena bicentenaria di valore al colmo pari a $235 \text{ m}^3/\text{s}$.

A titolo cautelativo, in ragione del fatto che il tratto di sistemazione idraulica in progetto è localizzato in corrispondenza della confluenza nel torrente Burba, si è ipotizzato i sede di simulazione idraulica che vi sia una concomitanza dei colmi di piena sul rio Ronco e torrente Burba.

9.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per i tratti naturali si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a $25\text{-}30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.04\text{-}0.033 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning)

Per il tratto sistemato in gabbioni metallici si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.033 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

Per i tratti di tombinatura e di canale in cls si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

Tali valori sono in accordo con il Regolamento Regionale N.3.

9.5 Verifica della situazione attuale

La portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni transita nel tratto di monte completamente contenuta in alveo; nel tratto terminale, in corrispondenza della tombinatura esistente (sez.14- a confluenza in Burba) si assiste a un brusco innalzamento dei livelli indotto dall'inadeguatezza idraulica delle opere, insufficienti a smaltire la portata di riferimento. In particolare il tombino circolare di diametro 1.0 m manda in crisi l'intero tratto tombinato che manifesta un funzionamento in pressione; si evidenzia quindi un elevato rischio idraulico per gli edifici ed attività presenti nell'area.

Di seguito (Tabella 18 e Figura 16) si riportano tabularmente e graficamente i risultati della simulazione rappresentando il profilo idrometrico del rio Ronco nello stato attuale.

Note	Sezione di modello	Progressiva	Sommità sponda SX	Sommità sponda Dx	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)
	1	0	90.39	91.38	7.2	83.18	84.06	84.18	84.58	0.0382	3.20	2.25	3.56	1.28
	2	23.52	90.46	92.11	7.2	82.28	83.67	83.67	84.09	0.0293	2.87	2.51	2.98	1.00
	3	33.34	90.70	94.65	7.2	81.40	82.55	82.87	83.57	0.0867	4.47	1.61	2.28	1.70
	4	60.61	90.86	95.11	7.2	79.58	80.40	80.66	81.24	0.0801	4.08	1.77	3.38	1.80
opera 13	5.1 monte briglia	96.87	79.50	80.97	7.2	74.28	74.58	74.92	76.15	0.2947	5.55	1.30	4.79	3.40
opera 14	5.2 valle briglia	97.37	79.50	80.97	7.2	72.94	73.23	73.66	75.84	0.5924	7.16	1.01	4.17	4.65
	6	122.36	77.78	77.37	7.2	71.15	72.24	72.37	72.79	0.0383	3.27	2.20	3.14	1.25
opera 12	6.5 monte briglia	132.92	75.22	74.81	7.2	70.88	71.07	71.26	71.90	0.2797	4.04	1.78	10.42	3.12
opera 12	6.6 valle briglia	133.42	75.22	74.81	7.2	68.59	69.26	69.81	71.61	0.2712	6.79	1.06	2.27	3.17
	7	143.36	70.69	72.58	7.2	68.17	68.78	69.04	69.64	0.0982	4.10	1.76	4.12	2.00
	8	147.4	70.66	71.50	7.2	67.92	68.51	68.73	69.25	0.0809	3.81	1.89	4.43	1.86
opera 11	8.5 monte briglia	153.4	69.04	69.88	7.2	67.42	68.10	68.31	68.80	0.0650	3.73	1.93	3.47	1.60
opera 11	8.6 valle briglia	153.9	69.04	69.88	7.2	66.30	67.04	67.45	68.66	0.2032	5.64	1.28	3.16	2.83
	9	164.77	67.60	69.00	7.2	65.99	66.90	67.02	67.46	0.0440	3.31	2.17	3.07	1.26
opera 10	9.5 monte briglia	172.04	67.30	68.70	7.2	65.69	66.62	66.72	67.14	0.0392	3.18	2.26	3.09	1.19
opera 10	9.6 valle briglia	172.54	67.30	68.70	7.2	64.19	64.57	65.06	66.91	0.3671	6.79	1.06	2.86	3.56
	10	179.3	66.33	67.24	7.2	64.10	64.59	64.81	65.34	0.0908	3.86	1.87	4.35	1.88
	11	197.39	65.12	62.20	7.2	56.15	56.51	57.13	61.14	0.9317	9.53	0.76	2.66	5.71
	12	209.18	59.35	59.91	7.2	54.57	55.04	55.37	56.28	0.1644	4.93	1.46	3.84	2.56
	13	229.7	56.42	57.71	7.2	53.51	54.70	54.52	54.97	0.0148	2.28	3.16	3.36	0.75
	14	249.43	54.58	54.46	7.2	52.84	54.09	53.99	54.54	0.0311	2.98	2.42	2.05	0.87
opera 2	15 monte scatolare	259.75	53.89	53.89	7.2	52.19	53.84	53.46	54.22	0.0271	2.72	2.64	1.60	0.68
			Bridge											
opera 3	16 valle scatolare	440	49.79	49.80	7.2	48.59	50.54		50.55	0.0002	0.61	14.26	15.30	0.15

Note	Sezione di modello	Progressiva	Sommità sponda SX	Sommità sponda Dx	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)
circolare d=1m	17 monte tombino	441	50.03	50.03	7.2	48.58	50.50	49.83	50.53	0.0006	0.90	9.64	15.30	0.21
			Culvert											
circolare d=1m	18 valle tombino	443	49.99	49.99	7.2	48.54	50.17	50.17	50.31	0.0035	1.88	5.21	15.30	0.47

Tabella 18 - Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del rio Ronco nello stato attuale.

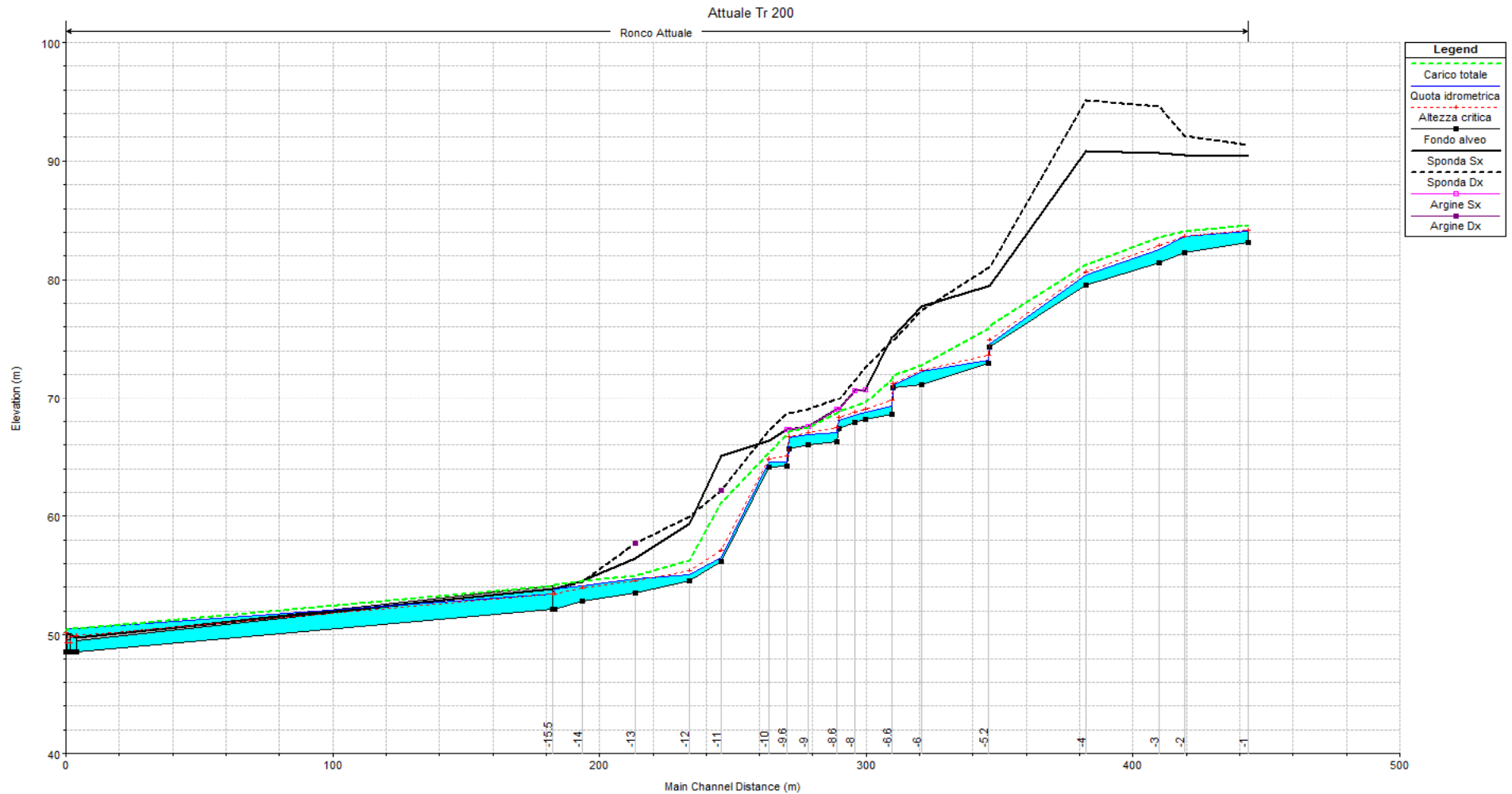


Figura 16 - Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del rio Ronco nello stato attuale

9.6 Verifica della situazione di progetto

Come già detto in precedenza, dato l'elevato rischio idraulico presente nella configurazione di stato attuale, indotto dalla presenza di opere di attraversamento esistenti inadeguate in corrispondenza della sua confluenza in Burba, in sede di progetto il rio Ronco viene deviato in sinistra idraulica e fatto confluire più a monte rispetto all'attuale nodo di confluenza.

La simulazione di progetto, analogamente a quella di stato attuale, ha analizzato la piena con tempo di ritorno 200 anni defluente sull'asta del rio Ronco, concomitante temporalmente rispetto a quella del torrente Burba, prendendo in considerazione quindi gli eventuali fenomeni di rigurgito che dal Burba risalgono lungo l'affluente.

Dalla simulazione eseguita si può evincere che la piena è sempre abbondantemente contenuta nelle tipologie di sistemazione previste; le sezioni di attraversamento rispettano le dimensioni minime (3.0 m²) prescritte dal Regolamento sopraccitato.

Il franco di sicurezza nel tratto a cielo aperto è sempre superiore sia al valore minimo tabulare fissato in 0.5 m che a quello costituito dalla semi altezza cinetica; tale criterio non è totalmente soddisfatto per il tratto di tombinatura il cui franco non deve essere inferiore ad 1.0 m e comunque alla semi altezza cinetica; in particolare si evidenzia che:

- nella sezione di imbocco del tombino circolare eseguito in microtunnelling (sez.26) il franco idraulico di sicurezza è pari a 0.82 m; la verifica rispetto alla semi altezza cinetica è invece soddisfatta;
- nelle sezioni terminali denominate 29 e 30, in corrispondenza della confluenza in Burba, il franco di sicurezza del tombino scatolare è rispettivamente 0.70 e 0.78 m in ragione del livello Tr200 del torrente Burba che influenza in termini di rigurgito indotto il profilo idrometrico del rio Ronco; la verifica rispetto alla semi altezza cinetica è invece soddisfatta.

Rispetto a quanto sopra detto vengono fatte le seguenti considerazioni:

- il manufatto di microtunnelling si è reso necessario per non interferire con gli edifici presenti nell'area tutelata dal Ministero dei Beni Attività Culturali; va specificato inoltre che tale struttura non può essere eseguita di diametro superiore a 2.5 m (malgrado esistano diametri fino ad oltre 3.0 m) in ragione dell'esigua copertura all'imbocco; realizzando strutture con diametro superiore si rischierebbe di generare degli sfornellamenti della superficie di piano campagna di copertura;
- il manufatto scatolare terminale non ha il franco richiesto dal Regolamento in quanto risente del rigurgito indotto del torrente Burba; va considerato che l'analisi idraulica eseguita ipotizza concomitanza temporale dei colmi dei due corsi d'acqua, situazione sicuramente molto cautelativa e difficilmente riscontrabile nella realtà fisica, in ragione dei differenti tempi di traslazione dei colmi sulle due aste caratterizzate da tempi di corrivazione molto diversi.

Di seguito (Tabella 19 e Figura 17) si riportano i risultati tabulari e grafici della simulazione eseguita per lo stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Sommità sponda/intradosso opera	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco sommità sponda	Franco manufatto attraversamento
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)	(m)
gabbioni	1	0.00	78.70	7.20	76.00	77.21	77.07	77.52	0.015	2.45	2.94	3.00	0.79	1.49	-
monte salto	2	1.00	78.70	7.20	76.00	77.07	77.07	77.49	0.024	2.88	2.50	3.00	1.01	1.63	-
valle salto	3	1.20	78.00	7.20	75.30	75.99	76.37	77.38	0.099	5.24	1.38	2.00	2.02	2.01	-
monte salto	4	2.00	78.00	7.20	75.30	76.02	76.37	77.25	0.115	4.90	1.47	3.00	2.24	1.98	-
valle salto	5	2.20	77.30	7.20	74.60	75.18	75.67	77.14	0.160	6.21	1.16	2.00	2.60	2.12	-
monte salto	6	3.00	77.30	7.20	74.60	75.21	75.67	76.96	0.135	5.86	1.23	2.00	2.38	2.09	-
valle salto	7	3.20	76.60	7.20	73.90	74.42	74.97	76.86	0.218	6.92	1.04	2.00	3.06	2.18	-
monte salto	8	4.00	76.60	7.20	73.90	74.45	74.97	76.62	0.184	6.52	1.10	2.00	2.80	2.15	-
valle salto	9	4.20	75.60	7.20	72.90	73.36	73.97	76.47	0.310	7.82	0.92	2.00	3.68	2.24	-
monte salto	10	29.30	75.02	7.20	72.32	73.30	73.39	73.83	0.033	3.22	2.23	3.00	1.19	1.72	-
valle salto	11	29.50	75.02	7.20	71.32	71.93	72.39	73.69	0.137	5.88	1.23	2.00	2.40	3.09	-
monte salto	12	34.30	73.92	7.20	71.22	72.01	72.29	72.96	0.079	4.34	1.66	3.00	1.86	1.91	-
valle salto	13	34.50	73.92	7.20	70.22	70.79	71.29	72.83	0.169	6.34	1.14	2.00	2.68	3.13	-
monte salto	14	39.30	72.82	7.20	70.12	70.88	71.19	71.95	0.094	4.59	1.57	3.00	2.03	1.94	-
valle salto	15	39.50	72.82	7.20	69.12	69.68	70.19	71.82	0.181	6.49	1.11	2.00	2.78	3.14	-
monte salto	16	44.30	71.72	7.20	69.02	69.77	70.09	70.88	0.099	4.68	1.54	3.00	2.08	1.95	-
valle salto	17	44.50	71.72	7.20	68.02	68.57	69.09	70.75	0.185	6.54	1.10	2.00	2.81	3.15	-
monte salto	18	49.30	70.62	7.20	67.92	68.66	68.99	69.79	0.101	4.70	1.53	3.00	2.10	1.96	-
valle salto	19	49.50	70.62	7.20	66.92	67.47	67.99	69.66	0.186	6.55	1.10	2.00	2.82	3.15	-
monte salto	20	54.30	69.52	7.20	66.82	67.56	67.89	68.69	0.102	4.71	1.53	3.00	2.11	1.96	-
valle salto	21	54.50	69.52	7.20	65.82	66.37	66.89	68.56	0.187	6.56	1.10	2.00	2.83	3.15	-
monte salto	22	67.01	68.30	7.20	65.57	66.48	66.64	67.12	0.043	3.52	2.04	3.00	1.36	1.82	-
valle salto (vasca trasporto solido)	23	67.21	68.30	7.20	65.02	65.27	65.61	66.99	0.268	5.81	1.24	5.00	3.73	3.03	-
monte salto (sfioro vasca)	24	78.81	68.30	7.20	65.02	65.55	65.61	65.93	0.024	2.71	2.66	5.00	1.18	2.75	-

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Sommità sponda/intradosso opera	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco sommità sponda	Franco manufatto attraversamento
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)	(m)
valle salto	25	79.21	68.30	7.20	55.13	56.89	55.72	56.92	0.001	0.82	8.79	5.00	0.20	11.41	-
imbocco circolare D=2.5 m	26	83.01	57.63	7.20	55.13	56.81	55.96	56.91	0.001	1.43	5.03	3.00	0.35	-	0.82
			Culvert												
sbocco circolare D=2.5 m	27	157.40	56.12	7.2	53.62	54.45	54.45	54.88	0.009	2.88	2.50	3.00	1.00	-	1.67
valle salto inizio canale in c.a.	28	157.60	56.12	9.34	51.79	52.50	53.09	54.69	0.067	6.56	1.42	2.00	2.48	3.62	-
fine canale - inizio scatolare	29	241.18	52.27	9.34	50.27	51.57	51.57	52.23	0.013	3.59	2.60	2.00	1.00	-	0.70
fine scatolare	30	280.95	51.48	9.34	49.48	50.70	50.78	51.52	0.022	4.37	2.14	2.00	1.35	-	0.78

Tabella 19 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del rio Ronco nello stato di progetto.

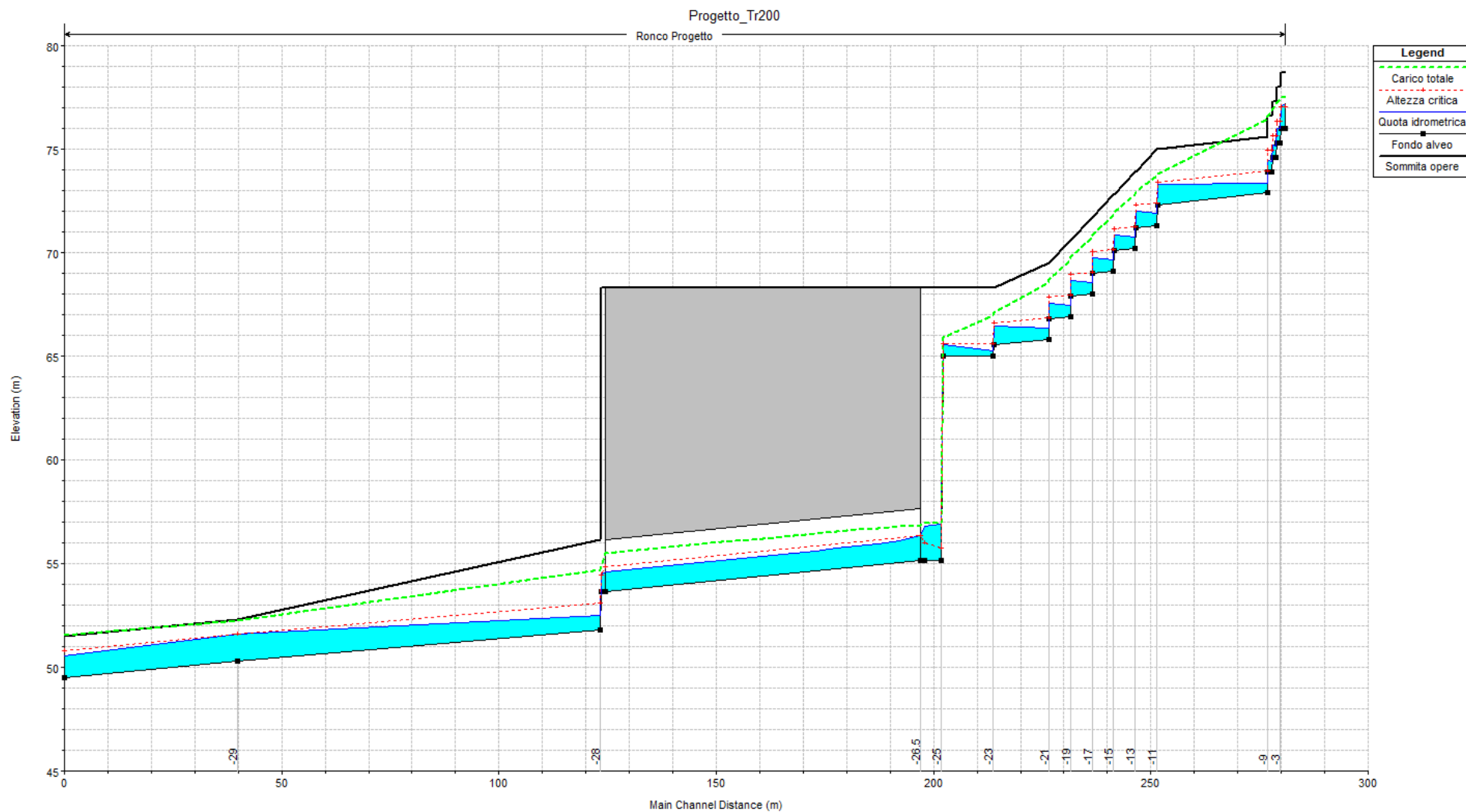


Figura 17 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del rio Ronco nello stato di progetto.

10. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIE BACCAN-BRIC DU VENTU-POLCEVERA

10.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Baccan-Bric du Ventu-Polcevera (vedi Figura 18) ha una superficie $S = 0.036 \text{ km}^2$ (reticolo minuto).

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 1.44 \text{ m}^3/\text{s}.$$

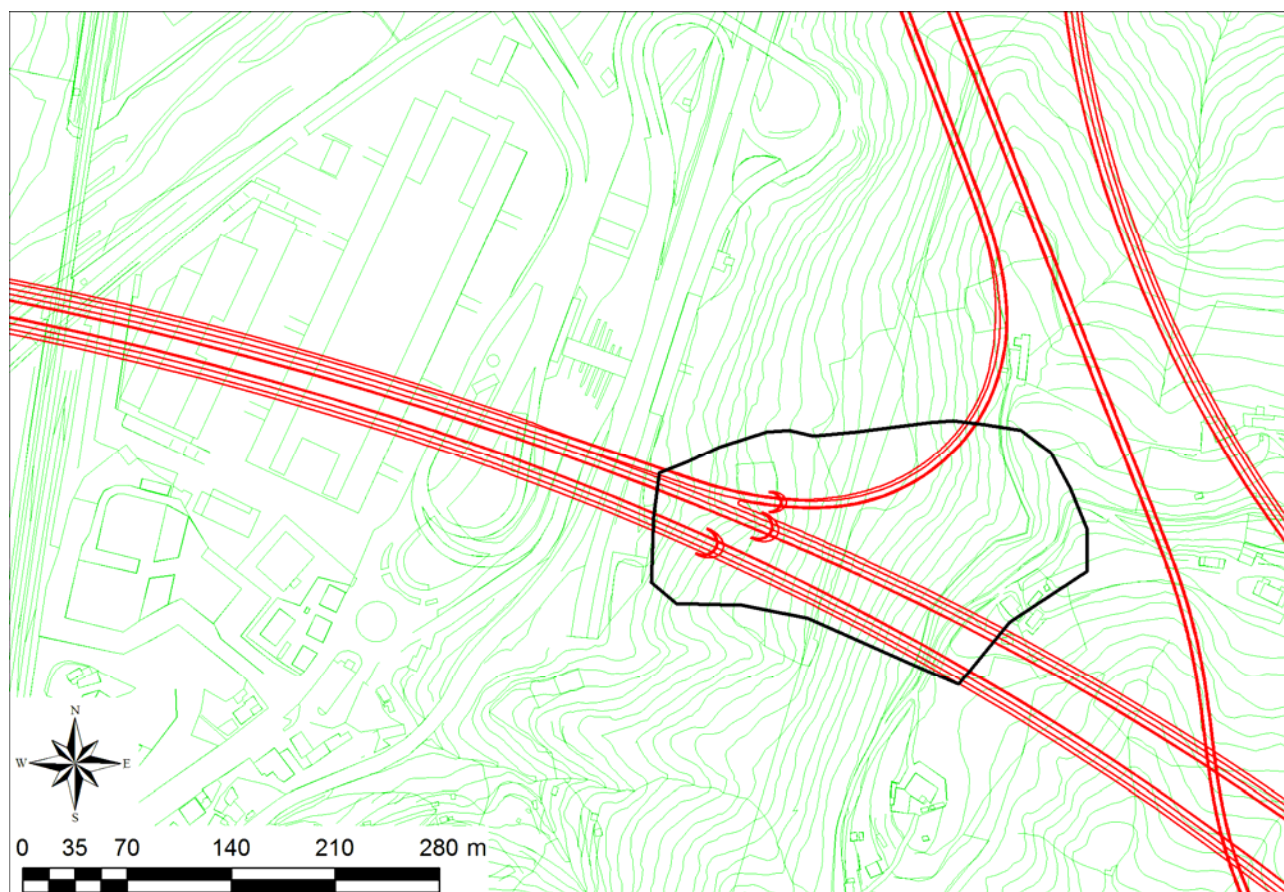


Figura 18 – Bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Baccan-Bric du Ventu-Polcevera.

10.2 Analisi idraulica

La verifica idraulica riguarda la deviazione di una tubazione circolare esistente di diametro $D=800 \text{ mm}$ localizzata in corrispondenza dell'imbocco delle gallerie Baccan – Bric du Ventu.

La deviazione è eseguita realizzando un manufatto scatolare in cls di dimensioni BxH=1.5X2.0 m per una lunghezza di circa 20.0 m con pendenza pari al 2%.

La verifica idraulica è stata eseguita per la portata di progetto pari a 1.44 m³/s, secondo una schematizzazione idrodinamica di moto uniforme utilizzando la formulazione di Chezy; la portata defluisce riempiendo il manufatto per una quantità pari al 19% generando un tirante idrico di 0.38 m con una velocità di 2.54 m/s secondo un moto in corrente veloce (altezza critica pari a 0.50 m). Il franco idraulico di sicurezza è pari a 1.62 m che rispetta quanto prescritto dal Regolamento Regionale N.3.

11. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MOREGO LATO OVEST-RACCORDO A7 NORD-A7 SUD

11.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Morego – imbocco Ovest, presso il raccordo A7 Nord-A7 Sud (vedi Figura 19) ha una superficie $S = 0.112 \text{ km}^2$ e secondo la gerarchizzazione idrografica prevista dal Regolamento Regionale N.3 appartiene al reticolo di terzo livello.

Considerando un contributo specifico di 40 m³/s km² si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 4.5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

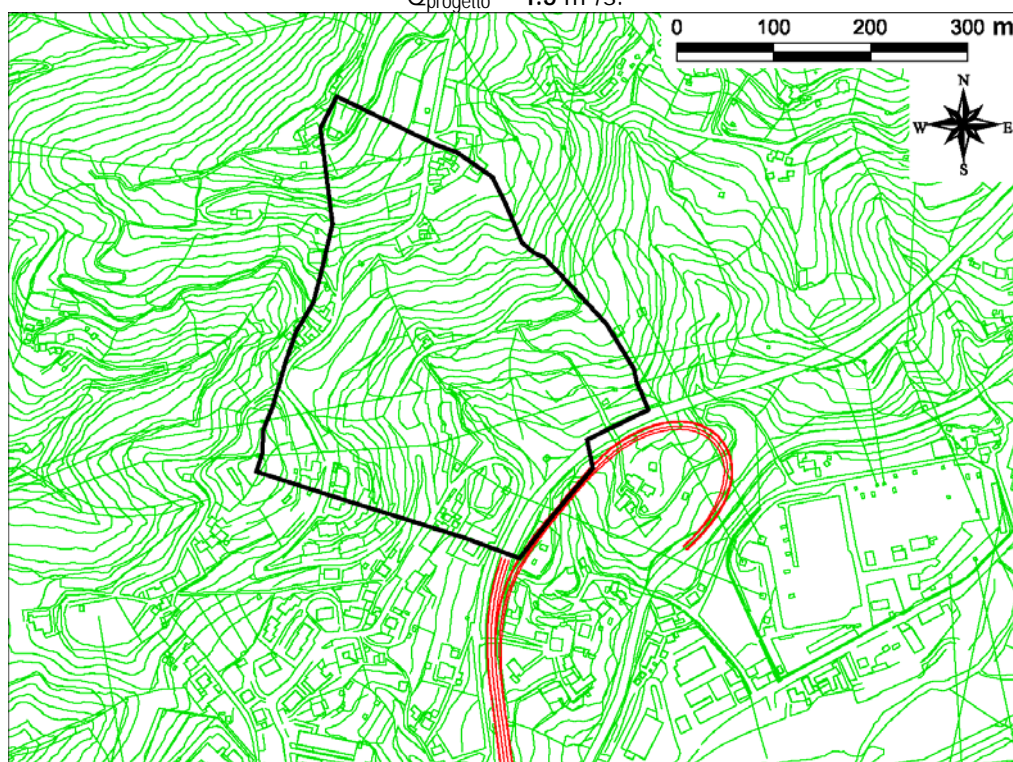


Figura 19 – Bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Morego – imbocco Ovest, presso il raccordo A7 Nord-A7 Sud.

11.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

11.2.1 Stato di progetto

La simulazione idraulica eseguita schematizza gli interventi in progetto previsti per il rio; esso viene canalizzato tramite una sistemazione idraulica costituita:

- nel tratto più a monte dalla realizzazione di una tombinatura scatolare;
- nella restante parte del tratto dalla realizzazione di un canale a sezione rettangolare.

Il modello idraulico è composto da 11 sezioni trasversali (costituite dalle sezioni tipo di sistemazione indicate sul profilo longitudinale di progetto), che descrivono geometricamente gli interventi previsti sul corso d'acqua per un'estensione di circa 46.0 m. La sistemazione prevista è caratterizzata dalla seguente geometria trasversale:

- tombino scatolare in cls di dimensioni di base pari a 3.0 m e altezza variabile da 5.0 a 6.30 m, avente uno sviluppo complessivo pari a 23.20 m; per tutta la sua lunghezza è caratterizzato da una pendenza del 3.0 % compiendo 2 salti di fondo, ciascuno di altezza 1.30 m;
- canale a sezione rettangolare in cls di dimensioni di base pari a 3.0 m e altezza variabile da 2.55 a 7.30 m, avente uno sviluppo complessivo pari a 22.85 m; esso è caratterizzato per un primo tratto di 8.0 m da una pendenza del 3% e successivamente (tratto di 14.05 m) da una pendenza del 7.5% con la presenza di 2 salti di fondo, ciascuno di altezza 1.3 m.

Di seguito (Tabella 20) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
inizio scatolare BxH=3x5-6.3	1	66.06	89.42	84.42
monte salto	2	74.06	89.18	84.18
valle salto	3	74.26	89.18	82.88
monte salto	4	82.05	87.64	82.64
valle salto	5	82.25	87.64	81.34
fine scatolare BxH=3x5-6.3 - inizio canale BxH=3xvar(7.3-2.55)	6	86.40	87.51	81.21
monte salto	7	90.05	87.40	81.10
valle salto	8	90.25	87.08	79.80
monte salto	9	98.05	84.39	79.56
valle salto	10	98.25	84.39	78.26
fine canale BxH=3xvar(7.3-2.55)	11	112.08	79.73	77.20

Tabella 20 - Profilo longitudinale del rio nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione, rappresenta il corso d'acqua sistemato così come riportato nell'elaborato di progetto IDR 0114.

11.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 4.50 m³/s e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 66.06 m;
- scala di moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez.11) a progressiva 112.08 m.

11.4 Coefficienti di resistenza distribuita

In accordo con quanto prescritto nel Regolamento Regionale N.3, per i tratti di canale a cielo aperto e di tombino scatolare in cls si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a 45 m^{1/3} s⁻¹ (0.022 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning).

11.5 Verifica nella situazione di progetto

Dalla simulazione eseguita si può evincere che la piena è sempre abbondantemente contenuta nelle tipologie di sistemazione previste, con un franco di sicurezza sempre superiore a 2.20 m; le sezioni rispettano le dimensioni minime (3.0 m²) prescritte dal Regolamento sopraccitato.

Il franco di sicurezza nel tratto a cielo aperto è sempre superiore sia al valore minimo tabulare fissato in 0.5 m che a quello costituito dalla semi altezza cinetica; tale criterio è soddisfatto anche per il tratto di tombinatura il cui franco non deve essere inferiore ad 1.0 m e comunque alla semi altezza cinetica.

Di seguito (Tabella 21 e Figura 20) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica rappresentando il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva.	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
inizio scatolare BxH=5x3	1	66.06	89.42	4.5	84.42	85.03	85.03	85.34	0.0090	2.46	1.83	3.00	1.01	4.39
monte salto	2	74.06	89.18	4.5	84.18	84.63	84.79	85.20	0.0230	3.37	1.34	3.00	1.61	4.55
valle salto	3	74.26	89.18	4.5	82.88	83.12	83.49	85.06	0.1480	6.16	0.73	3.00	3.99	6.06
monte salto	4	82.05	87.64	4.5	82.64	82.96	83.25	84.09	0.0640	4.72	0.95	3.00	2.67	4.68
valle salto	5	82.25	87.64	4.5	81.34	81.56	81.95	83.94	0.2060	6.84	0.66	3.00	4.67	6.08
fine scatolare BxH=5x3 - inizio canale BxH=3xvar(6.5-2.55)	6	86.40	87.51	4.5	81.21	81.48	81.82	83.10	0.1120	5.65	0.80	3.00	3.50	6.03
monte salto	7	90.05	87.40	4.5	81.10	81.40	81.71	82.66	0.0750	4.97	0.91	3.00	2.88	6.00
valle salto	8	90.25	87.08	4.5	79.80	80.01	80.41	82.51	0.2210	7.00	0.64	3.00	4.82	7.07
monte salto	9	98.05	84.39	4.5	79.56	79.85	80.17	81.17	0.0810	5.09	0.88	3.00	2.99	4.54
valle salto	10	98.25	84.39	4.5	78.26	78.47	78.87	81.03	0.2290	7.08	0.64	3.00	4.91	5.92
fine canale BxH=3xvar(6.5-2.55)	11	112.08	79.73	4.5	77.20	77.49	77.81	78.85	0.0850	5.17	0.87	3.00	3.06	2.24

Tabella 21 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

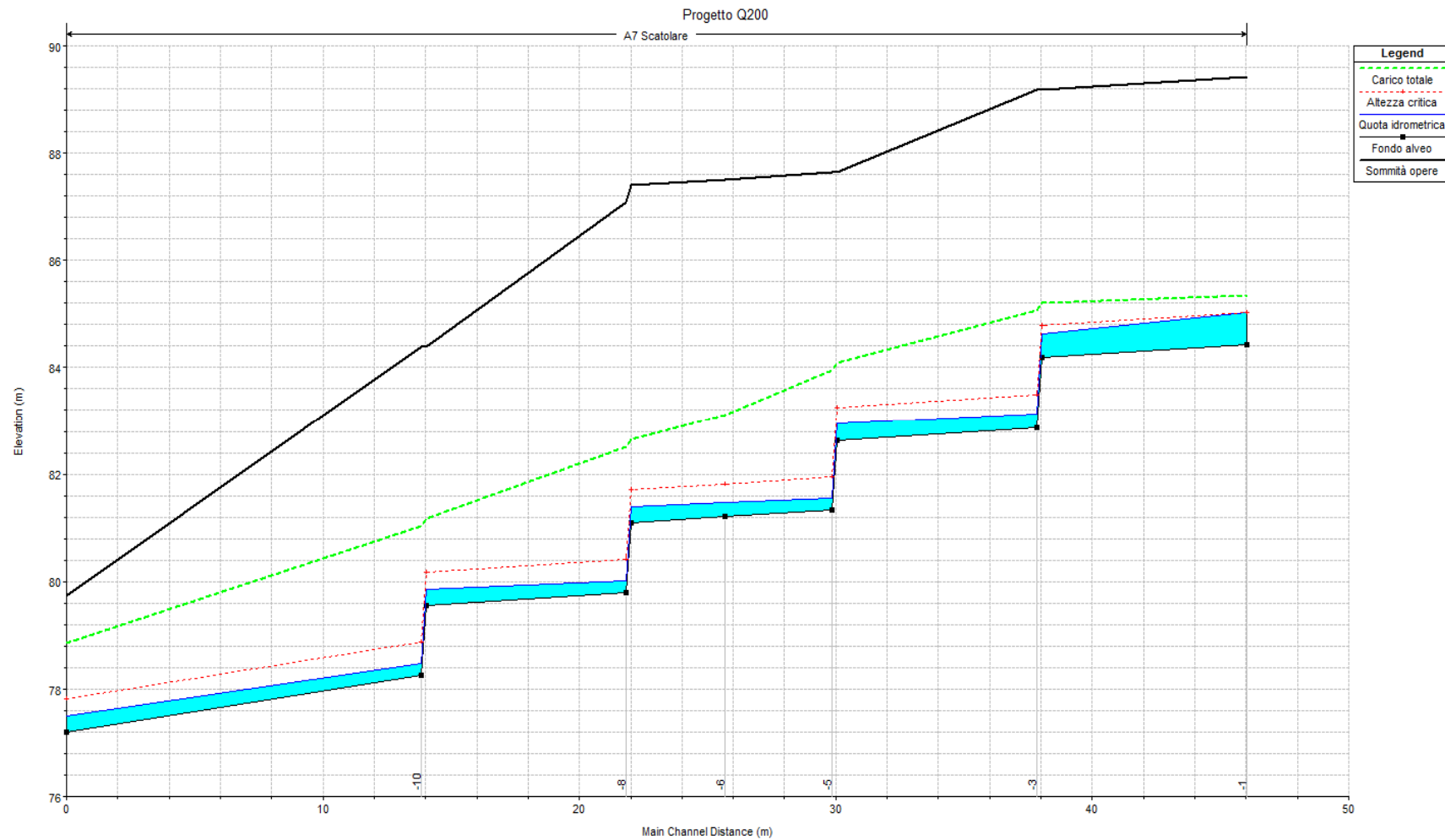


Figura 20 – Profilo idrometrico a tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

12. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA TORBELLA OVEST - GRANAROLO LATO NORD

12.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio affluente "Ovest" in sinistra del torrente Torbella, interferente con l'imbocco della galleria Granarolo Nord, (vedi Figura 21) ha una superficie $S = 0.089 \text{ km}^2$. Esso appartiene al reticolo idrografico minuto.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 3.6 \text{ m}^3/\text{s}.$$

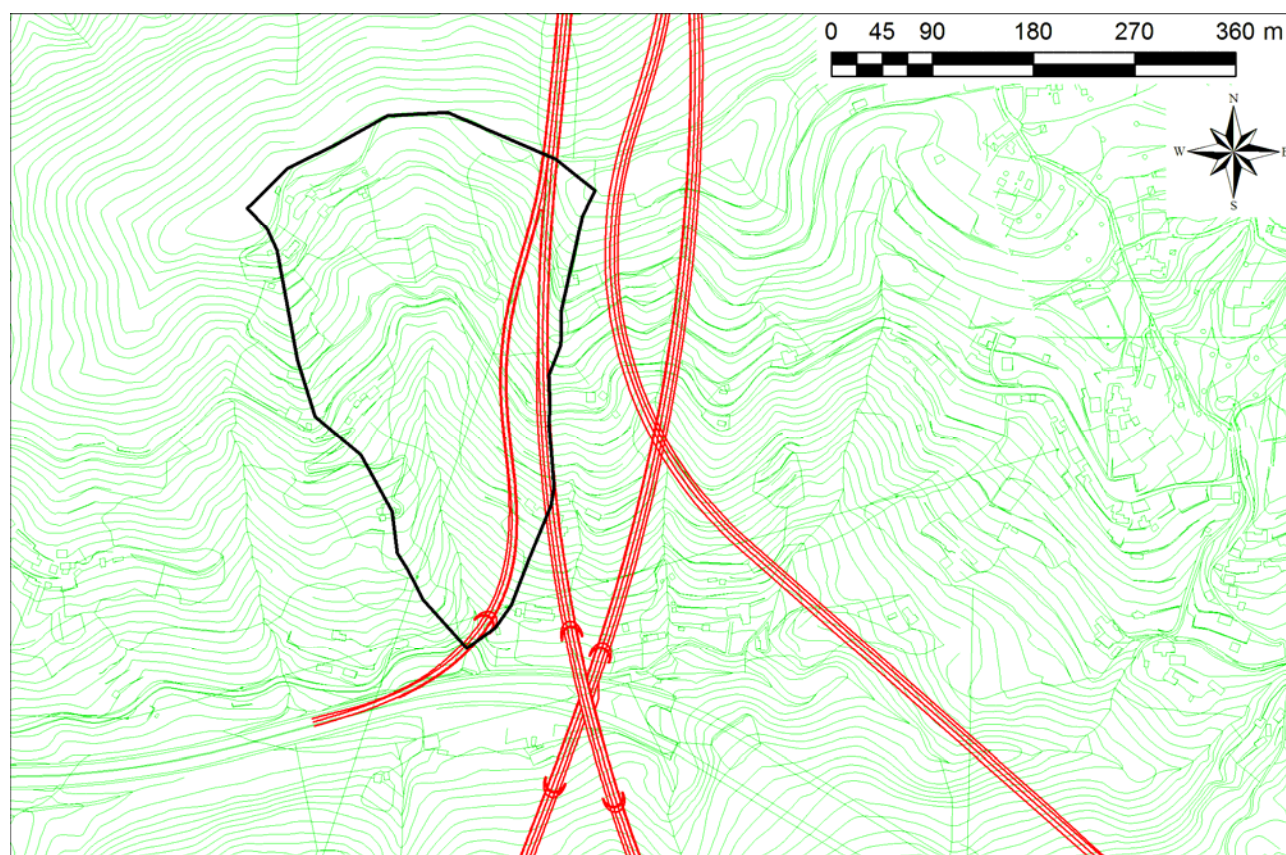


Figura 21 – Bacino imbrifero del rio affluente "ovest" in sinistra del torrente Torbella, interferente con l'imbocco della galleria Granarolo Nord.

12.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

12.2.1 Stato di progetto

La simulazione dello stato di progetto, rappresenta la canalizzazione del corso d'acqua da eseguirsi tramite la realizzazione di una tombinatura scatolare, nel tratto più a monte, e successivamente tramite la riprofilatura ed il rivestimento dell'alveo inciso con gabbioni metallici.

Il modello idraulico è composto da 23 sezioni trasversali, che rappresentano gli interventi previsti per una lunghezza pari a circa 86.0 m. La sistemazione prevista è costituita:

- da una vasca di controllo del trasporto solido localizzata a monte del tratto di lunghezza pari a 12.0 m e larghezza di 2.50 m; essa ha la funzione di intercettare e trattenere il materiale alluvionale trasportato dal rio in occasione di eventi di piena anche di modesta entità;
- a valle della vasca viene realizzato un tombino scatolare di dimensioni BxH=1.5xvar.2.0X3.5 m di estensione di circa 30.0 m, avente pendenza pari al 10% e caratterizzato dalla presenza di 3 salti di fondo;
- nel tratto più a valle si realizza un rivestimento in gabbioni metallici secondo una sezione geometrica larga 2.0 m alla base, 3.0 m in sommità e di altezza pari a 1.70 m per un'estensione di 43.75 m; nel tratto sono previsti 4 salti di fondo che conferiscono all'alveo inciso una pendenza pari al 2%.

Di seguito (Tabella 22) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
inizio vasca controllo trasporto solido	1	8.27	129.39	127.39
monte salto	2	8.77	129.39	127.39
valle salto	3	8.97	129.39	125.09
monte salto	4	15.04	127.84	125.09
valle salto	5	15.24	127.84	124.02
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	6	21.17	127.02	124.02
inizio scatolare valle salto	7	21.37	125.02	122.52
monte salto	8	25.15	124.12	122.12
valle salto	9	25.35	124.12	121.62
monte salto	10	29.13	123.23	121.23
valle salto	11	29.33	123.23	120.23
monte salto	12	43.76	120.77	118.77
valle salto	13	43.96	120.77	118.11
fine scatolare inizio gabbioni	14	50.62	119.13	117.43
monte salto	15	74.38	118.65	116.95
valle salto	16	74.58	117.65	115.95
monte salto	17	79.38	117.55	115.85
valle salto	18	79.58	116.55	114.85

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
monte salto	19	84.38	116.45	114.75
valle salto	20	84.58	115.45	113.75
monte salto	21	89.38	115.35	113.65
valle salto	22	89.58	114.35	112.65
fine gabbioni	23	94.35	114.26	112.56

Tabella 22 - Profilo longitudinale del rio nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione, rappresenta il corso d'acqua sistemato così come riportato nell'elaborato di progetto IDR 0120.

12.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 3.6 m³/s e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 8.27 m;
- scala di moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez.23) alla progressiva 94.35 m.

12.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per la vasca di sedimentazione ed il tombino scatolare in cls si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a 45 m^{1/3} s⁻¹ (0.022 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning).

Per il rivestimento in gabbioni metallici si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a 30 m^{1/3} s⁻¹ (0.033 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning).

12.5 Verifica nella situazione di progetto

La sezione di attraversamento prevista nel progetto (scatolare BxH=1.5Xvar2.0-3.5 m) è conforme a quanto previsto dal Regolamento Regionale N.3, che per il reticolo minuto impone una sezione minima di area non inferiore a 3 m².

Dalla simulazione eseguita si può evincere che l'intero tratto in progetto ha un franco di sicurezza sempre abbondantemente superiore a 0.9 m; tale sistemazione è da considerarsi adeguata idraulicamente in quanto rispetta il franco minimo di 0.3 m per le sezioni aperte e di 0.5 m per gli attraversamenti costituiti da tombinatura.

Di seguito (Tabella 23 e Figura 22) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
inizio vasca controllo trasporto solido	1	8.27	129.39	3.60	127.39	128.06	127.98	128.29	0.007	2.16	1.67	2.50	0.84	1.33
monte salto	2	8.77	129.39	3.60	127.39	127.98	127.98	128.28	0.010	2.43	1.48	2.50	1.01	1.41
valle salto	3	8.97	129.39	3.60	125.09	125.29	125.68	128.03	0.278	7.35	0.49	2.50	5.30	4.10
monte salto	4	15.04	127.84	3.60	125.09	125.37	125.68	126.72	0.091	5.14	0.70	2.50	3.10	2.47
valle salto	5	15.24	127.84	3.60	124.02	124.23	124.61	126.59	0.219	6.80	0.53	2.50	4.72	3.61
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	6	21.17	127.02	3.60	124.02	124.32	124.61	125.52	0.077	4.87	0.74	2.50	2.86	2.70
inizio scatolare valle salto	7	21.37	125.02	3.60	122.52	122.86	123.36	125.37	0.164	7.02	0.51	1.50	3.83	2.16
monte salto	8	25.15	124.12	3.60	122.12	122.48	122.95	124.72	0.139	6.62	0.54	1.50	3.51	1.64
valle salto	9	25.35	124.12	3.60	121.62	121.95	122.45	124.64	0.182	7.27	0.50	1.50	4.04	2.17
monte salto	10	29.13	123.23	3.60	121.23	121.59	122.06	123.91	0.148	6.76	0.53	1.50	3.62	1.64
valle salto	11	29.33	123.23	3.60	120.23	120.53	121.06	123.78	0.241	7.99	0.45	1.50	4.65	2.70
monte salto	12	43.76	120.77	3.60	118.77	119.16	119.60	121.09	0.113	6.16	0.58	1.50	3.15	1.61
valle salto	13	43.96	120.77	3.60	118.11	118.45	118.94	121.00	0.169	7.08	0.51	1.50	3.88	2.32
fine scatolare inizio gabbioni	14	50.62	119.13	3.60	117.43	117.75	118.19	119.41	0.239	5.71	0.63	2.00	3.25	1.38
monte salto	15	74.38	118.65	3.60	116.95	117.71	117.71	117.97	0.023	2.29	1.57	3.00	1.01	0.94
valle salto	16	74.58	117.65	3.60	115.95	116.28	116.71	117.83	0.217	5.53	0.65	2.00	3.10	1.37
monte salto	17	79.38	117.55	3.60	115.85	116.33	116.61	117.04	0.068	3.74	0.96	2.00	1.72	1.22
valle salto	18	79.58	116.55	3.60	114.85	115.16	115.61	116.92	0.260	5.88	0.61	2.00	3.39	1.39
monte salto	19	84.38	116.45	3.60	114.75	115.21	115.51	116.00	0.079	3.93	0.92	2.00	1.85	1.24
valle salto	20	84.58	115.45	3.60	113.75	114.05	114.51	115.87	0.272	5.97	0.60	2.00	3.47	1.40
monte salto	21	89.38	115.35	3.60	113.65	114.10	114.41	114.91	0.082	3.98	0.90	2.00	1.89	1.25
valle salto	22	89.58	114.35	3.60	112.65	112.95	113.41	114.78	0.276	5.99	0.60	2.00	3.49	1.40
fine gabbioni	23	94.35	114.26	3.60	112.56	113.01	113.32	113.82	0.082	3.98	0.90	2.00	1.89	1.25

Tabella 23 – Profilo idrometrico nello stato di progetto per tempo di ritorno 200 anni del rio affluente del torrente Torbella.

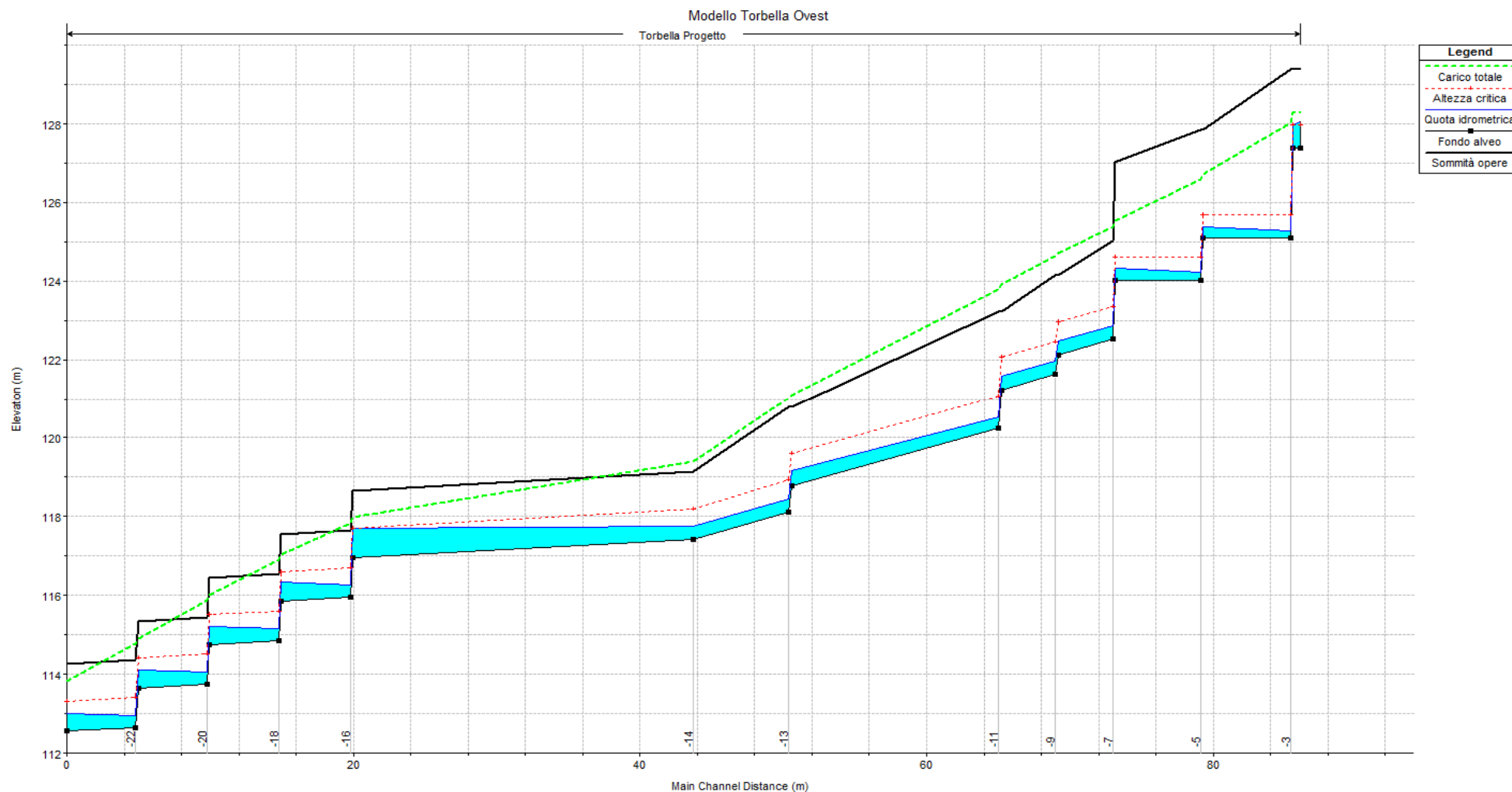


Figura 22 – Profilo idrometrico con tempo di ritorno 200 anni per il rio affluente del torrente Torbella nello stato di progetto.

13. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIE GRANAROLO - MORO 1 LATO SUD (GE-OVEST)

13.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Granarolo – Moro 1, presso la barriera di Genova Ovest (vedi Figura 23), ha una superficie $S = 0.060 \text{ km}^2$ e ricade dal punto di vista della gerarchizzazione idrografica nel reticolo minuto.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 2.4 \text{ m}^3/\text{s}.$$

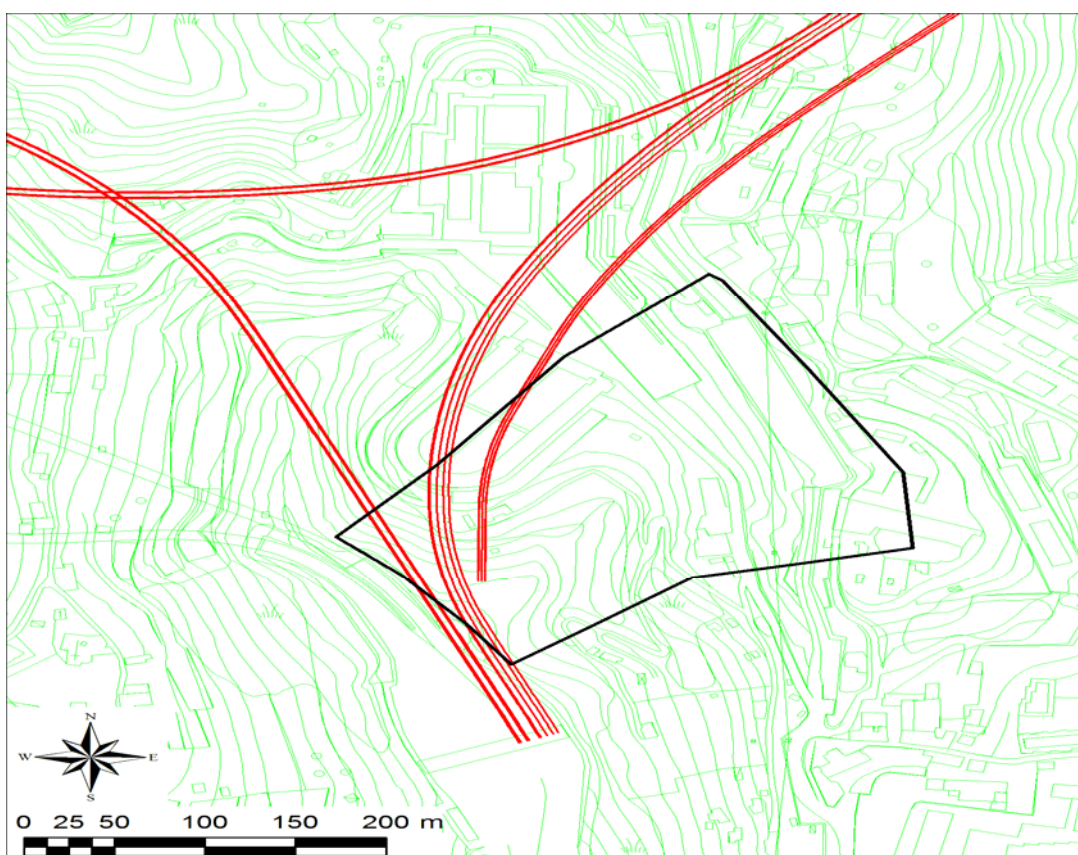


Figura 23 – Bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Granarolo – Moro 1.

13.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

13.2.1 Stato di progetto

Il rio viene canalizzato tramite una sistemazione idraulica costituita da:

- una vasca di controllo del trasporto solido atta alla sedimentazione del materiale alluvionale trasportato dal rio in occasione di eventi di piena anche di modesta entità; essa ha estensione pari a 12.0 m, larghezza di 4.0 m ed è localizzata a monte dell'intervento;
- a valle della vasca viene realizzato un tratto di canale in c.a. di dimensioni BxH= 1.5x2.0 m, di lunghezza complessiva di 41.00 m e pendenza variabile tra valori compresi tra 2 e 20%; il canale presenta 3 salti di fondo di altezza variabile tra 1.6 e 2.0 m;
- successivamente la sistemazione è costituita da una tominatura scatolare di dimensioni trasversali BxH=2.0x2.0 m, di estensione pari a 65.8 m e pendenza del 2%, collegata al precedente tratto tramite un pozzetto di altezza (misurata rispetto al fondo alveo) pari a circa 16.0 m; sempre in questo tratto, in corrispondenza del pozzetto a progressiva 116.73 m, il corso d'acqua riceve il contributo di piena (7.1 m³/s) proveniente dalla sistemazione eseguita all'imbocco della galleria MORO1 –PROTESI STRUTTURALE.

Il modello idraulico è composto da 20 sezioni trasversali (costituite dalle sezioni tipo di sistemazione indicate sul profilo longitudinale di progetto riportato nell'elaborato IDR 0122), che descrivono geometricamente gli interventi previsti sul corso d'acqua per un'estensione di circa 123.0 m.

Di seguito (Tabella 24) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	11.16	82.96	80.96
inizio vasca controllo trasporto solido monte salto	2	11.66	82.96	80.96
valle salto	3	11.86	82.96	78.34
monte salto	4	17.66	81.48	78.34
valle salto	5	17.86	81.48	77.00
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	6	24.06	79.97	77.00
inizio canale valle salto	7	24.26	79.97	75.50
monte salto	8	29.54	77.79	75.24
valle salto	9	29.74	77.79	73.49
monte salto	10	37.54	73.89	71.89
valle salto	11	37.74	73.89	69.89
monte salto	12	45.54	70.29	68.29
valle salto	13	45.74	70.29	66.69
monte salto	14	64.63	68.50	66.50

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
valle salto	15	64.83	68.50	61.05
monte salto	16	66.63	68.50	61.05
valle salto	17	66.83	68.50	50.40
fine canale inizio scatolare 2.0X2.0	18	68.63	52.40	50.40
	19	116.73	51.36	49.36
fine scatolare 2.0X2.0	20	134.13	51.06	49.06

Tabella 24 - Profilo longitudinale del rio nello stato di progetto.

13.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a $2.40 \text{ m}^3/\text{s}$ e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 11.16 m;
- incremento di portata al colmo di valore pari a $7.10 \text{ m}^3/\text{s}$ alla progressiva 116.73 m, in ragione del contributo di piena proveniente dalla Protesi Strutturale della galleria Moro1;
- altezza critica imposta nella sezione di valle (sez.20) a progressiva 134.13 m.

13.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per i tratti di canale e tombino scatolare in cls si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

13.5 Verifica nella situazione di progetto

La sezione di attraversamento prevista nel progetto (scatolare BxH=2.0X2.0 m) è conforme a quanto previsto dal Regolamento Regionale N.3, che per il reticolo minuto impone una sezione minima di area non inferiore a 3 m^2 .

Dalla simulazione eseguita si può evincere che l'intero tratto in progetto ha un franco di sicurezza sempre superiore a 0.5 m; tale sistemazione è da considerarsi adeguata idraulicamente in quanto rispetta il franco minimo di 0.3 m per le sezioni aperte e di 0.5 m per gli attraversamenti costituiti da tombinatura.

Di seguito (Tabella 25 e Figura 24) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione di modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
	1	11.16	82.96	2.40	80.96	81.34	81.29	81.47	0.0121	1.56	1.53	4.00	0.81	1.62
inizio vasca controllo trasporto solido monte salto	2	11.66	82.96	2.40	80.96	81.29	81.29	81.46	0.0192	1.81	1.32	4.00	1.01	1.67
valle salto	3	11.86	82.96	2.40	78.34	78.42	78.67	81.19	1.7656	7.37	0.33	4.00	8.24	4.54
monte salto	4	17.66	81.48	2.40	78.34	78.54	78.67	79.01	0.0982	3.03	0.79	4.00	2.17	2.94
valle salto	5	17.86	81.48	2.40	77.00	77.1	77.33	78.84	0.8209	5.83	0.41	4.00	5.80	4.38
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	6	24.06	79.97	2.40	77.00	77.24	77.33	77.56	0.0542	2.52	0.95	4.00	1.65	2.73
inizio canale valle salto	7	24.26	79.97	2.40	75.50	75.78	76.14	77.41	0.1279	5.66	0.42	1.50	3.40	4.19
monte salto	8	29.54	77.79	2.40	75.24	75.57	75.88	76.75	0.0796	4.82	0.50	1.50	2.67	2.22
valle salto	9	29.74	77.79	2.40	73.49	73.7	74.13	76.56	0.2963	7.48	0.32	1.50	5.17	4.09
monte salto	10	37.54	73.89	2.40	71.89	72.13	72.53	74.44	0.2153	6.73	0.36	1.50	4.41	1.76
valle salto	11	37.74	73.89	2.40	69.89	70.07	70.53	74.19	0.5203	9.00	0.27	1.50	6.81	3.82
monte salto	12	45.54	70.29	2.40	68.29	68.52	68.93	71.03	0.2438	7.02	0.34	1.50	4.69	1.77
valle salto	13	45.74	70.29	2.40	66.69	66.87	67.33	70.81	0.4856	8.80	0.27	1.50	6.58	3.42
monte salto	14	64.63	68.50	2.40	66.50	66.89	67.14	67.74	0.0494	4.09	0.59	1.50	2.09	1.61
valle salto	15	64.83	68.50	2.40	61.05	61.2	61.69	67.20	0.9307	10.86	0.22	1.50	9.03	7.30
monte salto	16	66.63	68.50	2.40	61.05	61.23	61.69	65.42	0.5332	9.07	0.26	1.50	6.89	7.27
valle salto	17	66.83	68.50	2.40	50.40	51.6	51.04	51.69	0.0024	1.33	1.80	1.50	0.39	16.90
fine canale inizio scatolare 2.0X2.0	18	68.63	52.40	2.40	50.40	51.63		51.68	0.0010	0.98	2.46	2.00	0.28	0.77
	19	116.73	51.36	9.50	49.36	50.68	50.68	51.34	0.0134	3.61	2.63	2.00	1.00	0.68
fine scatolare 2.0X2.0	20	134.13	51.06	9.50	49.06	50.25	50.38	51.06	0.0173	3.98	2.38	2.00	1.16	0.81

Tabella 25 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

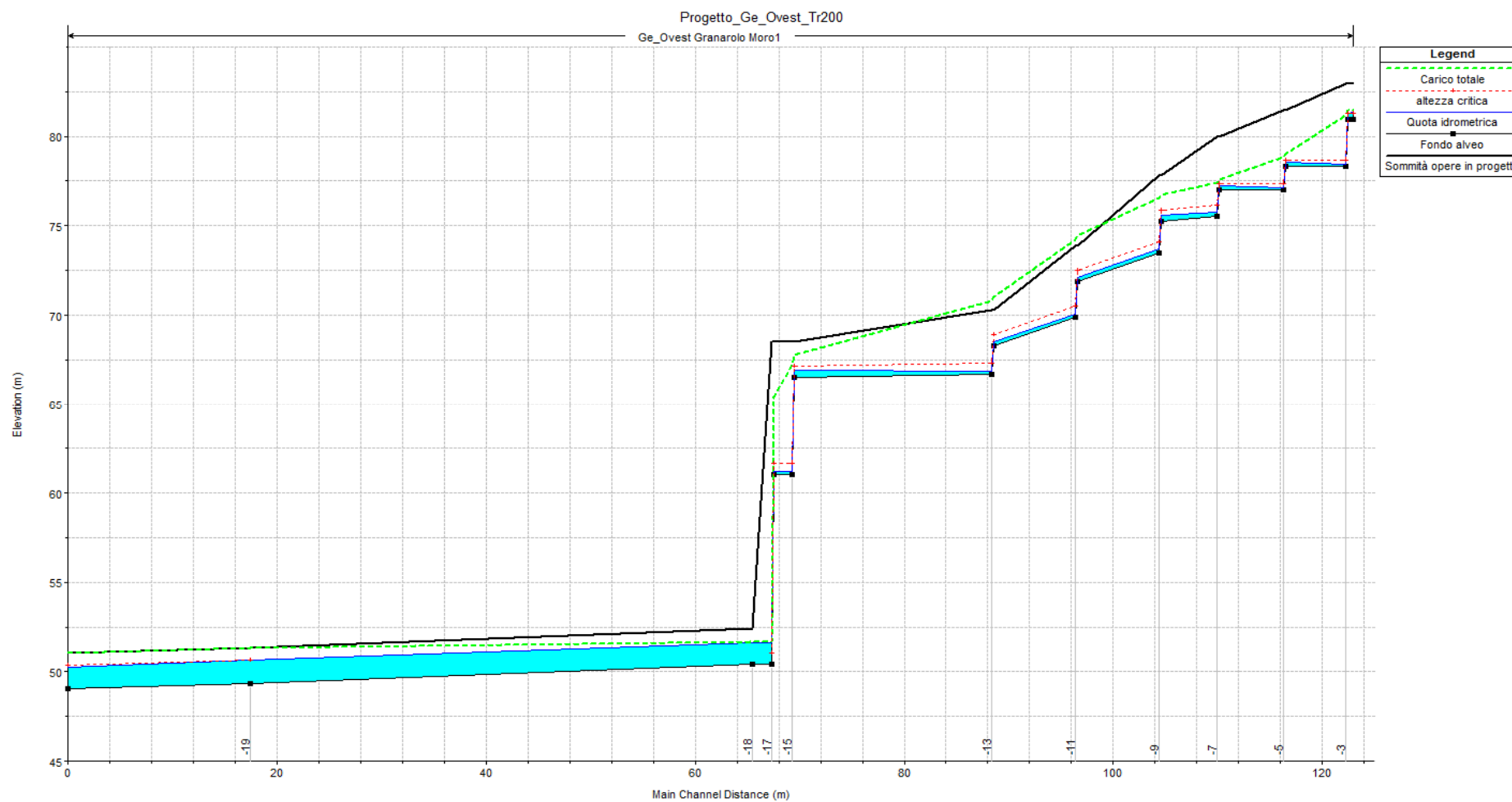


Figura 24 – Profilo idrometrico con tempo di ritorno 200 anni nello stato di progetto.

14. INTERFERENZA GALLERIA MORO 1 - TRATTO CON PROTESI STRUTTURALE

14.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Moro 1, presso la barriera di Genova Ovest (vedi Figura 25), ha una superficie $S = 0.177 \text{ km}^2$, ricadendo in termini di gerarchia idrografica nel reticolo di terzo livello.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

$$Q_{TR200} = 7.1 \text{ m}^3/\text{s}.$$

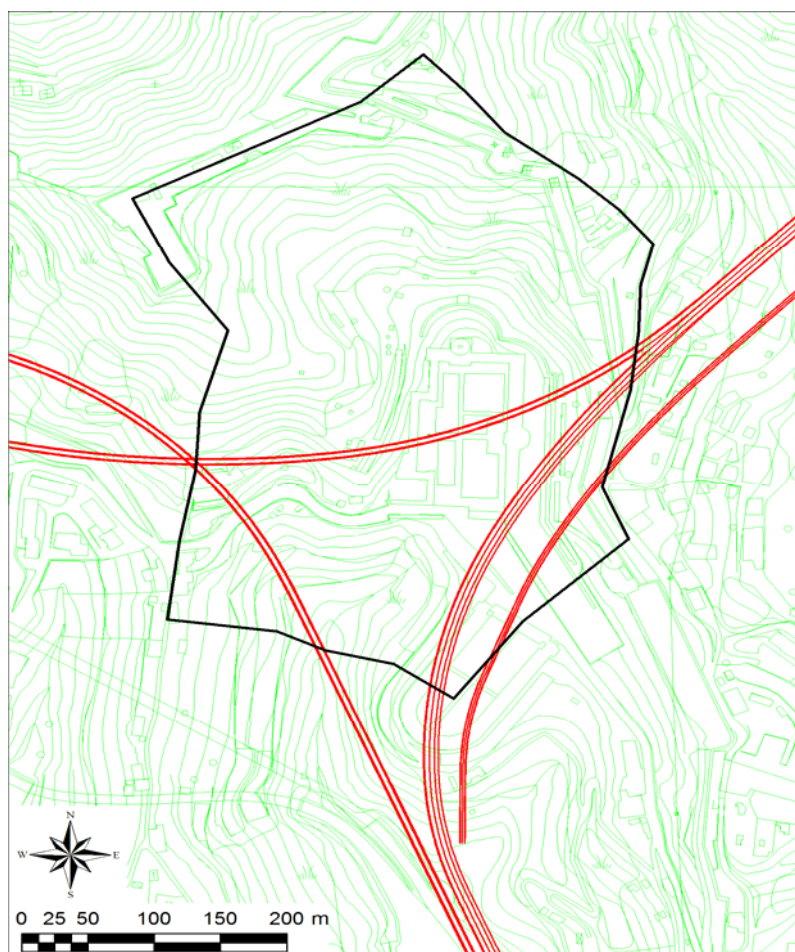


Figura 25 – Bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Moro 1.

14.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

14.2.1 Stato di progetto

Nello stato di progetto è previsto il riempimento di un tratto d'asta di lunghezza di poco superiore a circa 130 m, con il materiale di risulta proveniente dalla realizzazione delle gallerie; in tale condizione il fondo del rio viene innalzato di numerosi metri ed il corso d'acqua sistemato tramite la realizzazione di opere di rivestimento (gabbioni metallici) con un andamento altimetrico a salti di fondo del profilo longitudinale.

La modellizzazione idraulica per lo stato di progetto schematizza la canalizzazione del rio che sarà eseguita tramite una sistemazione idraulica costituita:

- da una vasca di controllo del trasporto solido (di lunghezza pari a 12.0 m e larghezza di 3.0 m) atta alla sedimentazione del materiale alluvionale trasportato dal rio in occasione di eventi di piena anche di modesta entità;
- a valle di essa è previsto il rivestimento dell'alveo in gabbioni metallici al fine di garantirne la stabilità morfologica; il rivestimento viene eseguito su un tratto d'asta di circa 164.0 m avente pendenza pari al 2% eseguendo numerosi salti di fondo di altezza pari ad 1.0 m.

Il modello idraulico è composto di 31 sezioni trasversali (costituite dalle sezioni tipo di sistemazione indicate sul profilo longitudinale di progetto), che descrivono geometricamente gli interventi previsti sul corso d'acqua per un'estensione complessiva di circa 177.0 m.

Di seguito (Tabella 26) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	2.96	87.66	85.66
inizio vasca controllo trasporto solido monte salto	2	3.46	87.66	85.66
	3	3.66	87.66	84.05
	4	9.71	86.43	84.05
	5	9.91	86.33	82.50
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	6	15.96	85.30	82.50
Inizio gabbioni metallici valle salto	7	16.16	84.69	81.00
	8	22.95	83.55	80.85
monte salto	9	98.32	81.08	79.38
valle salto	10	98.52	81.08	78.38

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
monte salto	11	108.11	79.90	78.20
valle salto	12	108.31	79.90	77.20
monte salto	13	115.22	78.80	77.10
valle salto	14	115.42	78.80	76.10
monte salto	15	122.34	77.68	75.98
valle salto	16	122.54	77.68	74.98
monte salto	17	129.46	76.56	74.86
valle salto	18	129.66	76.56	73.86
monte salto	19	133.92	75.50	73.80
valle salto	20	134.12	75.50	72.80
monte salto	21	141.03	74.38	72.68
valle salto	22	141.23	74.38	71.68
monte salto	23	148.15	73.26	71.56
valle salto	24	148.35	73.26	70.56
monte salto	25	155.27	72.12	70.42
valle salto	26	155.47	72.12	69.42
monte salto	27	162.38	71.02	69.32
valle salto	28	162.58	71.02	68.32
monte salto	29	169.50	69.90	68.20
valle salto	30	169.70	69.90	67.20
fine gabbioni	31	180.10	68.69	66.99

Tabella 26 - Profilo longitudinale del rio minore nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione rappresenta il corso d'acqua sistemato così come riportato nell'elaborato di progetto IDR 0124.

14.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 7.10 m³/s e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 2.96 m;
- altezza critica imposta nella sezione di valle (sez.31) a progressiva 180.1 m.

14.4 Coefficienti di resistenza distribuita

In conformità con quanto prescritto dal Regolamento regionale N.3, per il tratto sistemato in gabbioni metallici si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a 30 m^{1/3} s⁻¹ (0.033 m^{-1/3} s secondo l'espressione di

Manning). Per il tratto di vasca di controllo del trasporto solido (cls) si è assunta invece una scabrezza di Strickler di valore pari a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

14.5 Verifica della situazione di progetto

Le sezioni di sistemazione in progetto sul rio rispettano la filosofia d'intervento prescritta dal Regolamento N.3 per i corsi d'acqua appartenenti al reticolo di terzo livello.

Le opere di sistemazione previste rispettano i franchi minimi imposti; in particolare le opere di canalizzazione, caratterizzate da sezione aperta, hanno un franco sempre superiore sia a quello tabulare (0.5 m) che a quello corrispondente alla semi altezza cinetica.

Di seguito (Tabella 27 e Figura 26) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
	1	2.96	87.66	7.10	85.66	86.60	86.49	86.92	0.0144	2.52	2.82	3.00	0.83	1.06
inizio vasca controllo trasporto solido monte salto	2	3.46	87.66	7.10	85.66	86.49	86.49	86.90	0.0207	2.86	2.48	3.00	1.00	1.17
	3	3.66	87.66	7.10	84.05	84.40	84.88	86.70	0.2623	6.72	1.06	3.00	3.62	3.26
	4	9.71	86.43	7.10	84.05	84.59	84.88	85.56	0.0710	4.37	1.63	3.00	1.89	1.84
	5	9.91	86.33	7.10	82.50	82.83	83.33	85.38	0.3063	7.07	1.00	3.00	3.90	3.50
fine vasca controllo trasporto solido monte salto	6	15.96	85.30	7.10	82.50	83.02	83.33	84.08	0.0812	4.57	1.55	3.00	2.03	2.28
Inizio gabbioni metallici valle salto	7	16.16	84.69	7.10	81.00	81.52	82.06	83.92	0.2161	6.87	1.03	2.00	3.05	3.17
	8	22.95	83.55	7.10	80.85	81.62	81.91	82.62	0.0863	4.44	1.60	3.00	1.94	1.93
monte salto	9	98.32	81.08	7.10	79.38	80.44	80.44	80.86	0.0236	2.87	2.48	3.00	1.01	0.64
valle salto	10	98.52	81.08	7.10	78.38	78.99	79.44	80.72	0.1348	5.82	1.22	2.00	2.38	2.09
monte salto	11	108.11	79.90	7.10	78.20	79.10	79.25	79.72	0.0420	3.49	2.03	3.00	1.35	0.80
valle salto	12	108.31	79.90	7.10	77.20	77.80	78.26	79.59	0.1420	5.93	1.20	2.00	2.45	2.10
monte salto	13	115.22	78.80	7.10	77.10	77.95	78.16	78.70	0.0552	3.83	1.85	3.00	1.55	0.85
valle salto	14	115.42	78.80	7.10	76.10	76.68	77.16	78.57	0.1523	6.08	1.17	2.00	2.54	2.12
monte salto	15	122.34	77.68	7.10	75.98	76.81	77.04	77.61	0.0611	3.96	1.79	3.00	1.64	0.87
valle salto	16	122.54	77.68	7.10	74.98	75.56	76.04	77.48	0.1567	6.14	1.16	2.00	2.58	2.12
monte salto	17	129.46	76.56	7.10	74.86	75.69	75.92	76.50	0.0623	3.99	1.78	3.00	1.65	0.87
valle salto	18	129.66	76.56	7.10	73.86	74.44	74.92	76.37	0.1576	6.15	1.15	2.00	2.59	2.12
monte salto	19	133.92	75.50	7.10	73.80	74.56	74.86	75.60	0.0912	4.52	1.57	3.00	2.00	0.94
valle salto	20	134.12	75.50	7.10	72.80	73.35	73.86	75.47	0.1799	6.45	1.10	2.00	2.77	2.15
monte salto	21	141.03	74.38	7.10	72.68	73.48	73.74	74.36	0.0702	4.15	1.71	3.00	1.75	0.90

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
valle salto	22	141.23	74.38	7.10	71.68	72.25	72.74	74.23	0.1639	6.24	1.14	2.00	2.64	2.13
monte salto	23	148.15	73.26	7.10	71.56	72.38	72.62	73.21	0.0647	4.04	1.76	3.00	1.68	0.88
valle salto	24	148.35	73.26	7.10	70.56	71.13	71.62	73.08	0.1598	6.18	1.15	2.00	2.61	2.13
monte salto	25	155.27	72.12	7.10	70.42	71.24	71.48	72.07	0.0655	4.05	1.75	3.00	1.69	0.88
valle salto	26	155.47	72.12	7.10	69.42	69.99	70.48	71.95	0.1604	6.19	1.15	2.00	2.61	2.13
monte salto	27	162.38	71.02	7.10	69.32	70.15	70.38	70.95	0.0616	3.97	1.79	3.00	1.64	0.87
valle salto	28	162.58	71.02	7.10	68.32	68.90	69.38	70.82	0.1570	6.15	1.16	2.00	2.58	2.12
monte salto	29	169.50	69.90	7.10	68.20	69.03	69.26	69.84	0.0625	3.99	1.78	3.00	1.65	0.87
valle salto	30	169.70	69.90	7.10	67.20	67.78	68.26	69.71	0.1577	6.16	1.15	2.00	2.59	2.12
fine gabbioni	31	180.1	68.69	7.1	66.99	67.89	68.05	68.53	0.0442	3.55	2.00	3.00	1.39	0.80

Tabella 27 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nella situazione di progetto.

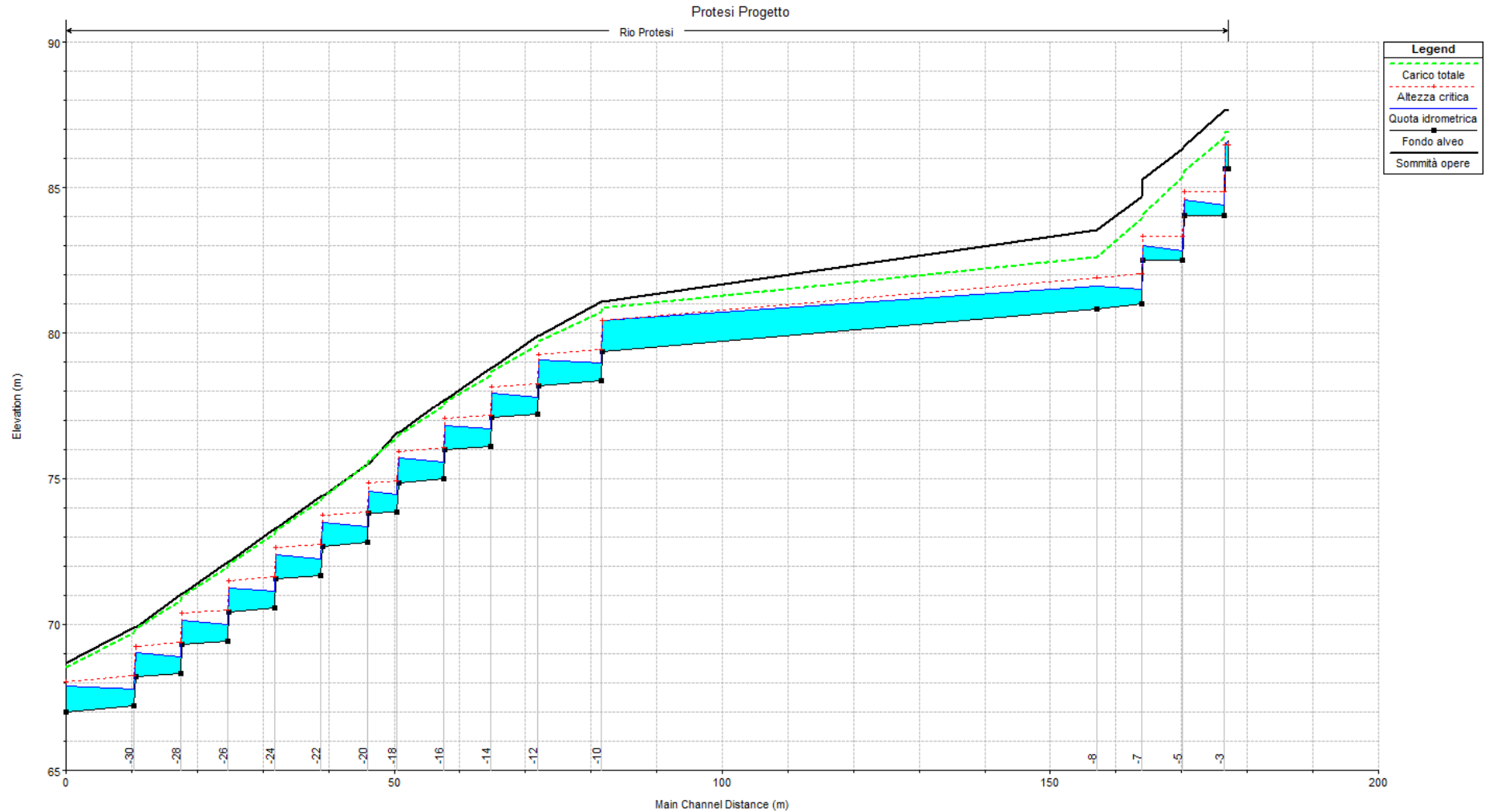


Figura 26 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nella situazione di progetto.

15. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MONTE SPERONE LATO EST - RIO ROVENA E FOSSO DI SCARICO FERROVIA GE-CASELLA

15.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio Rovena ha una superficie $S = 0.56 \text{ km}^2$ (reticolo di secondo livello) mentre il bacino imbrifero del fosso di scarico della ferrovia Genova-Casella (vedi Figura 27) ha una superficie $S = 0.037 \text{ km}^2$ (reticolo minuto).

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottengono le seguenti portate di piena di progetto:

rio Rovena: $Q_{\text{progetto}} = 22.4 \text{ m}^3/\text{s}$;

fosso di scarico FS: $Q_{\text{progetto}} = 1.50 \text{ m}^3/\text{s}$.

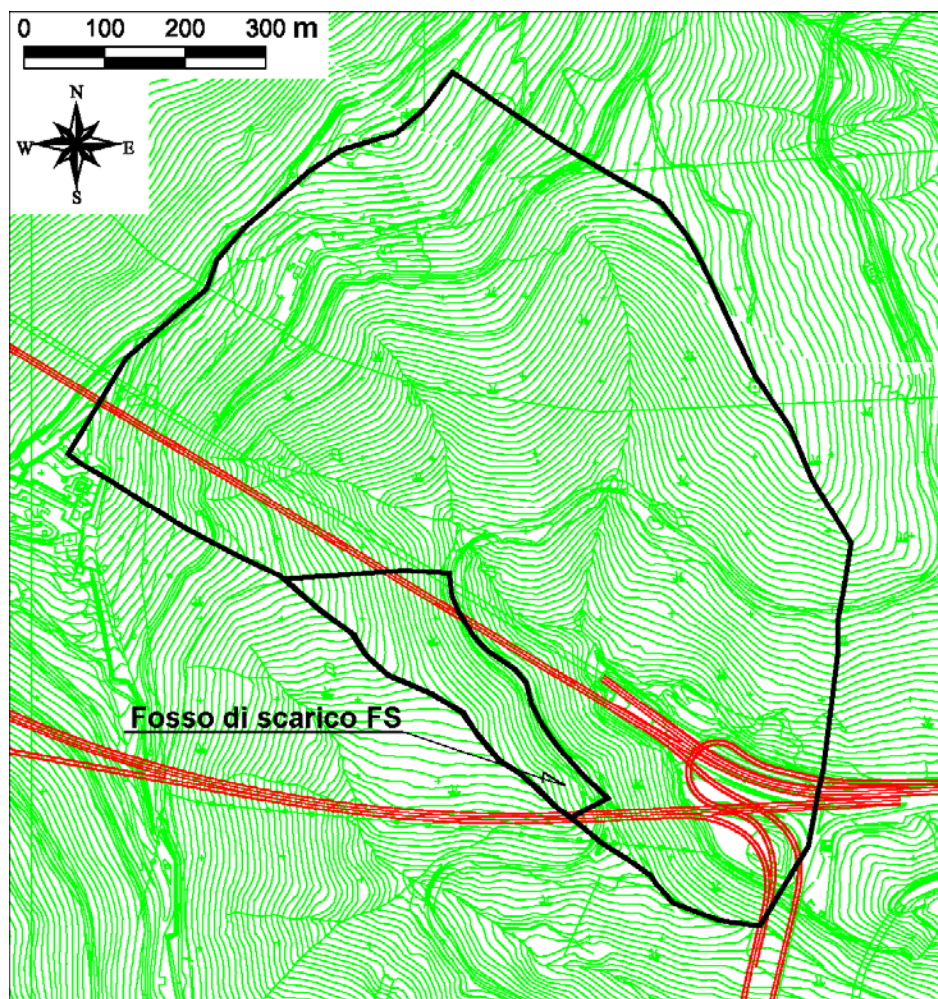


Figura 27 – Bacini imbriferi del rio Rovena e del fosso di scarico della ferrovia Genova-Casella.

15.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

15.2.1 Stato attuale

La geometria del rio Rovena è stata descritta sulla base del rilievo topografico (piano quotato) eseguito per il presente progetto.

Dal piano quotato disponibile sono state estratte 12 sezioni trasversali che descrivono geometricamente il corso d'acqua per un'estensione complessiva di circa 551.0 m.

Il corso d'acqua è caratterizzato geometricamente da un alveo canalizzato, di sezione irregolare trapezia rivestita in cls mediamente larga alla base 3.50 m e di altezza compresa tra valori di 1.5-1.8 m; l'alveo è limitato in destra e sinistra dai versanti presenti, il cui piede termina in corrispondenza delle sponde del corso d'acqua.

Il Rovena ha un assetto altimetrico variabile caratterizzato da un primo tratto (da sez.0 a sez.3A) a pendenza pari a circa il 3.7%, successivamente (da sez.3A a 7A) la pendenza si riduce ad un valore dello 0.42% per poi nuovamente incrementarsi tra le sez.7A e 11A ad un valore di 6.2% circa. A valle della sez.11A il corso d'acqua discende lungo il versante con una pendenza superiore al 30%, creando una disconnessione idraulica rispetto al tratto di monte.

Il corso d'acqua interferisce con il manufatto scatolare di attraversamento dello svincolo in uscita dell'autostrada A12 verso Genova Est, caratterizzato da dimensioni BxH=3.5x1.3 m, risultando a sezione ribassata rispetto all'altezza media del corso d'acqua.

Di seguito (Tabella 28) si riporta il profilo longitudinale del modello del Rovena in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg) e posizione dei manufatti presenti in alveo.

Note	Sezione stato attuale	Progressiva	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
Canale esistente	0	128.96	138.94	138.99	137.38
Canale esistente	1A	171.92	137.85	137.85	134.15
Canale esistente	2.1A	186.55	134.60	134.51	133.54
Canale esistente	2.2A	272.55	134.60	134.51	132.16
Canale esistente	3A	283.76	134.95	134.95	131.68
Canale esistente	4A	321.24	134.91	134.91	131.63
Canale esistente	5.1A	331.72	133.13	133.10	131.60
Canale esistente	5.2A	362.72	133.13	133.10	131.50
Canale esistente	interpolata		132.78	133.04	131.45
Imbocco scatolare autostrada esistente	6.1A	380.24	132.50	132.99	131.40

Note	Sezione stato attuale	Progressiva	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	6.15	Culvert			
Sbocco scatolare autostrada esistente	6.2A	391.54	132.50	132.99	131.30
Canale esistente	6.3A	398.76	132.52	132.91	131.26
Canale esistente	6.4A	408.76	132.55	132.79	131.19
Canale esistente	7A	426.85	132.60	132.58	131.08
Canale esistente	8A	444.85	131.58	131.58	130.79
Canale esistente	9A	486.51	130.38	130.38	128.58
Canale esistente	10A	535.82	125.45	125.64	124.14
Canale esistente	11A	551.24	124.93	125.39	123.36

Tabella 28 - Profilo longitudinale del corso d'acqua nelle condizioni di stato attuale.

In corrispondenza delle strutture, la sezione di rilievo che le rappresenta è stata duplicata per esigenze di modellizzazione.

15.2.2 Stato di progetto

Lo stato di progetto prevede la realizzazione di due opere di attraversamento della Gronda a monte dello svincolo autostradale esistente, costituite da due tombini scatolari di dimensioni BxH=3.5x3.7 m.

Per quanto attiene il manufatto di attraversamento dello svincolo esistente, al fine di ridurre il rischio di esondazione per l'autostrada, se n'è previsto l'ampliamento tramite la realizzazione di un fornace in destra e l'abbassamento del fondo alveo in modo da garantire una sezione di deflusso netta di BxH=6.00xvar. 2.00-2.15 m, tale ampliamento viene eseguito anche sul tratto di canale esistente a monte ed a valle della A12, secondo una sezione di progetto a geometria rettangolare di dimensioni di base pari a 6.0 m e altezza di variabile da 2.25 a 2.65 m. Al fine di abbassare il fondo alveo in corrispondenza del manufatto esistente si prevede un salto di fondo di altezza 0.55 m a monte dell'attraversamento stesso.

Il modello idraulico è composto dalle "sezioni trasversali tipo di sistemazione" (indicate sul profilo longitudinale di progetto di seguito allegato), che descrivono geometricamente gli interventi previsti sul corso d'acqua per un'estensione di circa 230.0 m.

Di seguito (Tabella 29) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda Sx	Quota sommità sponda Dx	Intradosso tombini	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
Canale esistente	0	128.96	138.94	138.99	-	137.38
Canale esistente	1	171.92	137.85	137.85	-	134.15
Imbocco scatolare in progetto	1.15	186.55	-	-	137.24	133.54
Culvert	2					
Sbocco scatolare in progetto	2.5	272.55	-	-	135.86	132.16
Canale esistente	3	283.76	134.95	134.95	-	131.68
Canale esistente	4	321.24	134.91	134.91	-	131.63
Imbocco scatolare in progetto	4.5	331.72	-	-	135.36	131.66
Culvert	5					
Sbocco scatolare in progetto	5.5	362.72	-	-	135.20	131.50
Ampliamento canale esistente monte salto	6	368.32	133.21	133.21	-	131.44
Ampliamento canale esistente valle salto	6.05	368.52	133.21	133.21		130.89
Imbocco scatolare autostrada esistente in ampliamento	6.1	380.24	-	-	132.68	130.68
Culvert	6.15					
Sbocco scatolare autostrada esistente in ampliamento	6.2	391.54	-	-	132.68	130.44
Ampliamento canale esistente	6.4	398.76	132.91	132.91	-	130.30
Ampliamento canale esistente	6.5	408.76	132.62	132.62	-	130.10
Ampliamento canale esistente	7	426.85	132.09	132.09	-	129.74
Raccordo al canale esistente BxH=6.0/3.5x1.8 m	8	444.85	131.58	131.58	-	129.39
Canale esistente BxH=3.5x1.8 m	9	486.51	130.38	130.38	-	128.58
Canale esistente	10	535.82	125.45	125.64	-	124.14
Canale esistente	11	551.24	124.93	125.39	-	123.36

Tabella 29 - Profilo longitudinale del rio minore nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione, significativo ai fini del calcolo idraulico, rappresenta il corso d'acqua per un'estensione di circa 257.0 m a monte dello svincolo autostradale e per circa 166.0 m a valle di essa; nell'elaborato di progetto IDR 0126 viene rappresentato il tratto oggetto di sistemazione.

15.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 22.4 m³/s e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.0) alla progressiva 128.96 m;
- scala di deflusso di moto uniforme imposta nella sezione di valle a progressiva 551.24 m.

Va specificato che la condizione al contorno di valle è stata assegnata in corrispondenza del brusco cambio di pendenza esistente del corso d'acqua al termine del tratto canalizzato, in tale sezione, infatti, si crea una disconnessione idraulica del profilo idraulico tale da garantire la validità dell'assunzione fatta.

15.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per i tratti di tombino scatolare e di canale in cls si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a 45 m^{1/3} s⁻¹ (0.022 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning).

15.5 Verifica della situazione di stato attuale

La simulazione eseguita ha mostrato che il profilo idrometrico del rio Rovena è fortemente condizionato dal manufatto di attraversamento dello svincolo esistente, inadeguato a smaltire la portata di riferimento.

Esso viene sormontato dalla piena per un'altezza pari a circa 0.50 m, inducendo un elevato profilo di rigurgito verso monte; lungo il corso d'acqua non esistono rischi per abitati in quanto il corso d'acqua è incassato tra i versanti (il franco negativo che appare nella tabella della simulazione di stato attuale si riferisce al ciglio delle sponde destra e sinistra dell'alveo rivestito, esternamente ad esse il piano campagna è costituito dalle pendici dei due versanti e quindi contiene i livelli della piena di riferimento) . L'unico elemento a rischio idraulico elevato è costituito dall'attraversamento sopra descritto.

Di seguito (Tabella 30 e Figura 28) si riportano i risultati tabulari e grafici della simulazione che mostra il rio Rovena nelle condizioni di stato attuale.

Note	Sezione stato attuale	Progressiva	Quota sommità sponda sx	Quota sommità sponda dx	Intradosso tombini	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza sponda sx	Franco di sicurezza sponda dx	Franco di sicurezza tombini
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)	(m)	(m)
Canale esistente	0	128.96	138.94	138.99		22.4	137.38	138.92	138.92	139.33	0.0051	3.05	9.08	11.64	0.84	0.02	0.07	
Canale esistente	1	171.92	137.85	137.85		22.4	134.15	134.88	135.69	138.45	0.0795	8.37	2.68	4.04	3.28	2.97	2.97	
Canale esistente	2.1A	186.55	134.60	134.51		22.4	133.54	134.36	135.26	137.29	0.0562	7.57	2.96	3.97	2.80	0.24	0.15	
Canale esistente	2.2A	272.55	134.60	134.51		22.4	132.16	134.12	133.80	134.64	0.0051	3.19	7.03	3.98	0.77	0.48	0.39	
Canale esistente	3A	283.76	134.95	134.95		22.4	131.68	134.09		134.32	0.0018	2.16	10.39	5.77	0.51	0.86	0.86	
Canale esistente	4A	321.24	134.91	134.91		22.4	131.63	133.83		134.19	0.0034	2.67	8.38	4.87	0.65	1.08	1.08	
Canale esistente	5.1A	331.72	133.13	133.10		22.4	131.60	133.86		134.15	0.0019	2.42	10.00	6.62	0.54	-0.73	-0.76	
Canale esistente	5.2A	362.72	133.13	133.10		22.4	131.50	133.78		134.08	0.0020	2.48	9.67	6.45	0.56	-0.65	-0.68	
Canale esistente	interpolata		132.78	133.04		22.4	131.45	133.76		134.04	0.0017	2.42	10.41	7.51	0.54	-0.98	-0.72	
Imbocco scatolare autostrada A7 esistente	6.1A	380.24	132.50	132.99	132.68	22.4	131.40	133.80	133.13	133.97	0.0011	2.00	14.18	11.24	0.43	-1.30	-0.81	-1.12
	6.15	Culvert																
Sbocco scatolare autostrada A7 esistente	6.2A	391.54	132.50	132.99	132.68	22.4	131.30	133.05	133.05	133.62	0.0053	3.41	7.17	7.26	0.88	-0.55	-0.06	-0.37
Canale esistente	6.3A	398.76	132.52	132.91		22.4	131.26	132.83	132.94	133.58	0.0076	3.85	6.06	5.67	1.05	-0.31	0.08	
Canale	6.4A	408.76	132.55	132.79		22.4	131.19	132.70	132.84	133.49	0.0084	3.94	5.81	5.67	1.10	-0.15	0.09	

Note	Sezione stato attuale	Progressiva	Quota sommità sponda sx	Quota sommità sponda dx	Intradosso tombini	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza sponda sx	Franco di sicurezza sponda dx	Franco di sicurezza tombini
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)	(m)	(m)
esistente																		
Canale esistente	7A	426.85	132.60	132.58		22.4	131.08	132.43	132.62	133.31	0.0107	4.16	5.38	4.45	1.21	0.17	0.15	
Canale esistente	8A	444.85	131.58	131.58		22.4	130.79	131.61	132.02	132.98	0.0252	5.27	4.54	6.50	1.86	-0.03	-0.03	
Canale esistente	9A	486.51	130.38	130.38		22.4	128.58	129.26	129.84	131.48	0.0486	6.60	3.39	5.00	2.56	1.12	1.12	
Canale esistente	10A	535.82	125.45	125.64		22.4	124.14	124.76	125.53	128.22	0.0867	8.24	2.72	4.39	3.34	0.69	0.88	
Canale esistente	11A	551.24	124.93	125.39		22.4	123.36	124.05	124.75	126.89	0.0637	7.47	3.00	4.33	2.86	0.88	1.34	

Tabella 30 – Profilo idrometrico di stato attuale del rio Rovena per tempo di ritorno 200 anni.

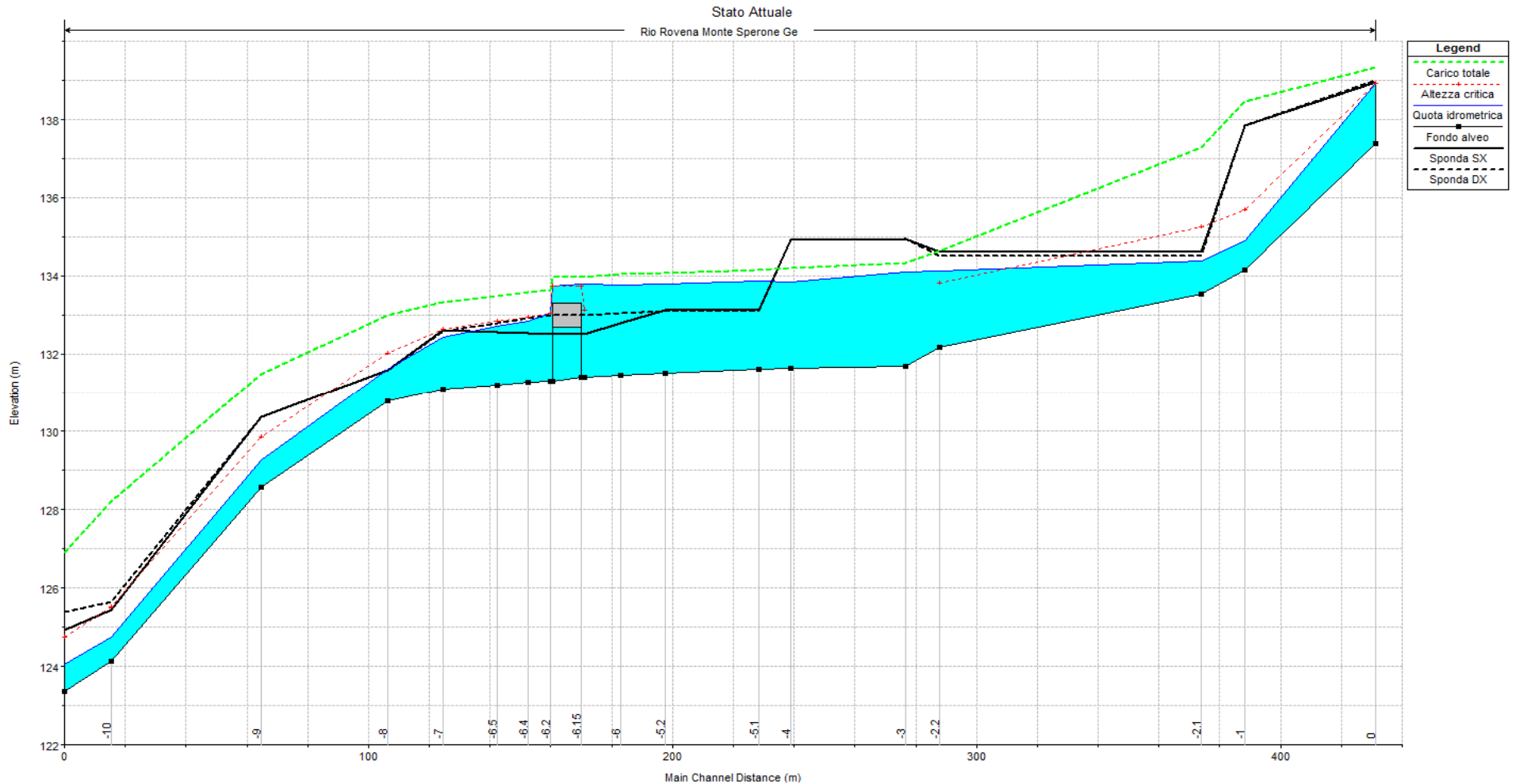


Figura 28 - Profilo idrometrico di stato attuale del rio Rovena per tempo di ritorno 200 anni.

15.6 Verifica della situazione di progetto

L'inadeguatezza idraulica dell'autostrada esistente (svincolo A12) ha reso necessario, oltre al dimensionamento appropriato delle opere di attraversamento della Gronda in progetto anche una sistemazione idraulica del corso d'acqua atta a migliorare le condizioni di rischio idraulico per l'autostrada esistente stessa.

Le sezioni di attraversamento in progetto della Gronda sul rio Rovena rispettano le dimensioni minime (2.0X2.0 m) imposte dal Regolamento N.3 per i corsi d'acqua appartenenti al reticolo di secondo livello.

Dalla simulazione eseguita si può evincere che i tombini scatolari in progetto hanno franco di sicurezza sempre superiore a 2.0 m rispettando sia il franco minimo tabulare che quello cinetico imposto dal Regolamento Regionale.

L'attraversamento A12 esistente in ampliamento (aggiunta di un fornice in destra e abbassamento fondo alveo tale da garantire una sezione di deflusso complessiva di dimensioni $B \times H = 6.00 \times \text{var.} 2.00 - 2.15 \text{ m}$) ha un franco di 1.33 m (rispettando il valore minimo di 1.0 m imposto per strutture di estensione inferiore a 12 m) ma non rispetta pienamente la condizione relativa a quello cinetico (franco negativo di 0.24 m, in ragione di un carico cinetico nella sezione di monte dell'attraversamento pari a 1.57 confrontato con il franco proprio del tombino di 1.33 m); non è stato possibile prevedere una sistemazione che conferisca all'attraversamento un franco pari all'altezza cinetica poiché gli interventi previsti sul rio Rovena risultano al limite della compatibilità con l'assetto geometrico limite del corso d'acqua; infatti non sono stati previsti ulteriori abbassamenti del fondo in corrispondenza della A12 per non alterare le condizioni di deflusso del rio Rovena stesso.

Va specificato che la sistemazione prevista rimuove completamente le elevate condizioni di rischio idraulico per lo svincolo A12 nello stato attuale.

Di seguito (Tabella 31 e Figura 29) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda sx	Quota sommità sponda dx	Intradosso tombini	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza sponda sx	Franco di sicurezza sponda dx	Franco di sicurezza tombini
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)	(m)	(m)
Canale esistente	0	128.96	138.94	138.99	-	22.4	137.38	138.91	138.91	139.33	0.0052	3.08	8.98	11.59	0.85	-	-	-
Canale esistente	1	171.92	137.85	137.85	-	22.4	134.15	134.88	135.68	138.44	0.0792	8.36	2.68	4.04	3.28	2.97	2.97	-
Imbocco scatolare in progetto	1.15	186.55	-	-	137.24	22.4	133.54	134.39	135.15	137.26	0.0570	7.49	2.99	3.50	2.59	-	-	2.85
	2		Culvert															
Sbocco scatolare in progetto	2.5	272.55	-	-	135.86	22.4	132.16	133.23	133.77	135.04	0.0296	5.96	3.76	3.50	1.84	-	-	2.63
Canale esistente	3	283.76	134.95	134.95	-	22.4	131.68	132.74	133.33	134.67	0.0306	6.16	3.64	4.16	2.10	2.21	2.21	-
Canale esistente	4	321.24	134.91	134.91	-	22.4	131.63	133.37	133.37	134.04	0.0078	3.62	6.20	4.66	1.00	1.54	1.54	-
Imbocco scatolare in progetto	4.5	331.72	-	-	135.36	22.4	131.66	133.27	133.27	134.07	0.0097	3.98	5.63	3.50	1.00	-	-	2.09
	5		Culvert															
Sbocco scatolare in progetto	5.5	362.72	-	-	135.20	22.4	131.50	133.11	133.11	133.91	0.0097	3.97	5.64	3.50	1.00	-	-	2.09
Ampliamento canale esistente monte salto	6	368.32	133.21	133.21	-	22.4	131.44	132.13	132.56	133.61	0.0303	5.39	4.15	6.00	2.07	1.08	1.08	-
Ampliamento canale esistente valle salto	6.05	368.52	133.21	133.21		22.4	130.89	131.48	132.01	133.55	0.0509	6.38	3.51	6.00	2.66	1.73	1.73	-
Imbocco scatolare autostrada esistente in ampliamento	6.1	380.24	-	-	132.68	22.4	130.68	131.35	131.80	132.92	0.0331	5.55	4.04	6.00	2.16	-	-	1.33
	6.15		Culvert															
Sbocco scatolare autostrada esistente in ampliamento	6.2	391.54	-	-	132.68	22.4	130.44	131.11	131.56	132.71	0.0342	5.61	4.00	6.00	2.19	-	-	1.57

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda sx	Quota sommità sponda dx	Intradosso tombini	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza sponda sx	Franco di sicurezza sponda dx	Franco di sicurezza tombini
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)	(m)	(m)
Ampliamento canale esistente	6.4	398.76	132.91	132.91	-	22.4	130.30	131.01	131.42	132.43	0.0285	5.28	4.24	6.00	2.01	1.90	1.90	-
Ampliamento canale esistente	6.5	408.76	132.62	132.62	-	22.4	130.10	130.84	131.22	132.12	0.0242	5.01	4.47	6.00	1.85	1.78	1.78	-
Ampliamento canale esistente	7	426.85	132.09	132.09	-	22.4	129.74	130.62	130.92	131.70	0.0175	4.60	4.87	5.59	1.57	1.47	1.47	-
Raccordo al canale esistente BxH=6.0/3.5x1.8 m	8	444.85	131.58	131.58	-	22.4	129.39	130.43	130.66	131.38	0.0137	4.33	5.18	4.99	1.36	1.15	1.15	-
Canale esistente BxH=3.5x1.8 m	9	486.51	130.38	130.38	-	22.4	128.58	129.51	129.85	130.69	0.0189	4.82	4.65	5	1.6	0.87	0.87	-
Canale esistente	10	535.82	125.45	125.64	-	22.4	124.14	124.73	125.53	128.6	0.103012	8.72	2.57	4.39	3.64	0.72	0.91	-
Canale esistente	11	551.24	124.93	125.39	-	22.4	123.36	124.03	124.75	127.04	0.069617	7.69	2.91	4.33	2.99	0.90	1.36	-

Tabella 31 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nella situazione di progetto.

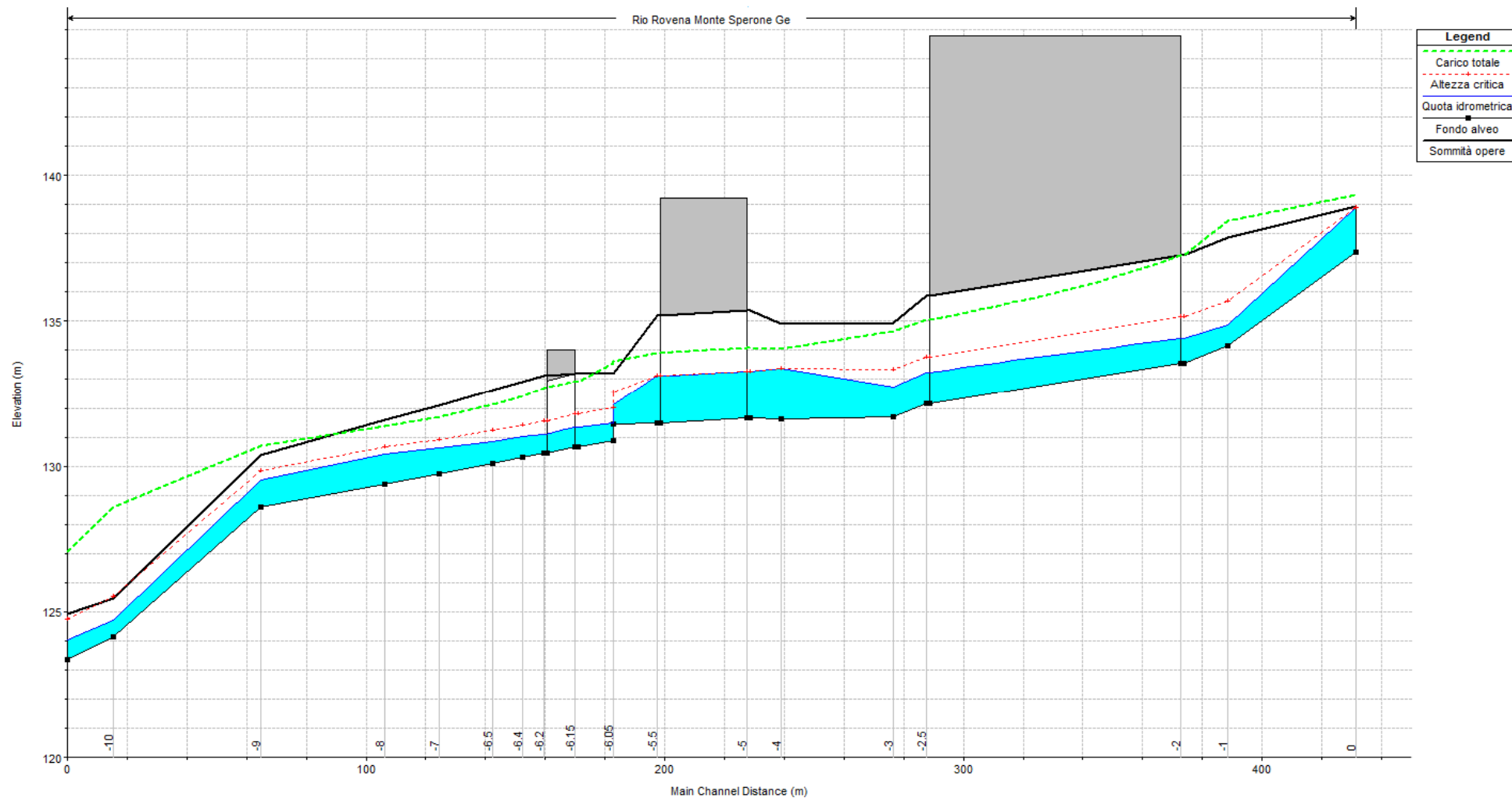


Figura 29 – Profilo idrometrico a tempo di ritorno 200 anni nella situazione di progetto.

15.7 Analisi idraulica del fosso di scarico della ferrovia Genova-Casella

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni BxH=1.6x1.6 m
- pendenza minima 0.19 m/m
- materiale cls
- scabrezza 45 m^{1/3} s⁻¹
- portata progetto 1.5 m³/s
- altezza critica 0.45 m
- altezza moto uniforme 0.18 m
- franco di sicurezza 1.42 m

16. INTERFERENZA CANTIERE INDUSTRIALE CI06

16.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con il cantiere industriale CI06 (vedi Figura 30), ha una superficie $S = 0.35 \text{ km}^2$, appartenendo pertanto al reticolo di secondo livello.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 14.0 \text{ m}^3/\text{s}.$$

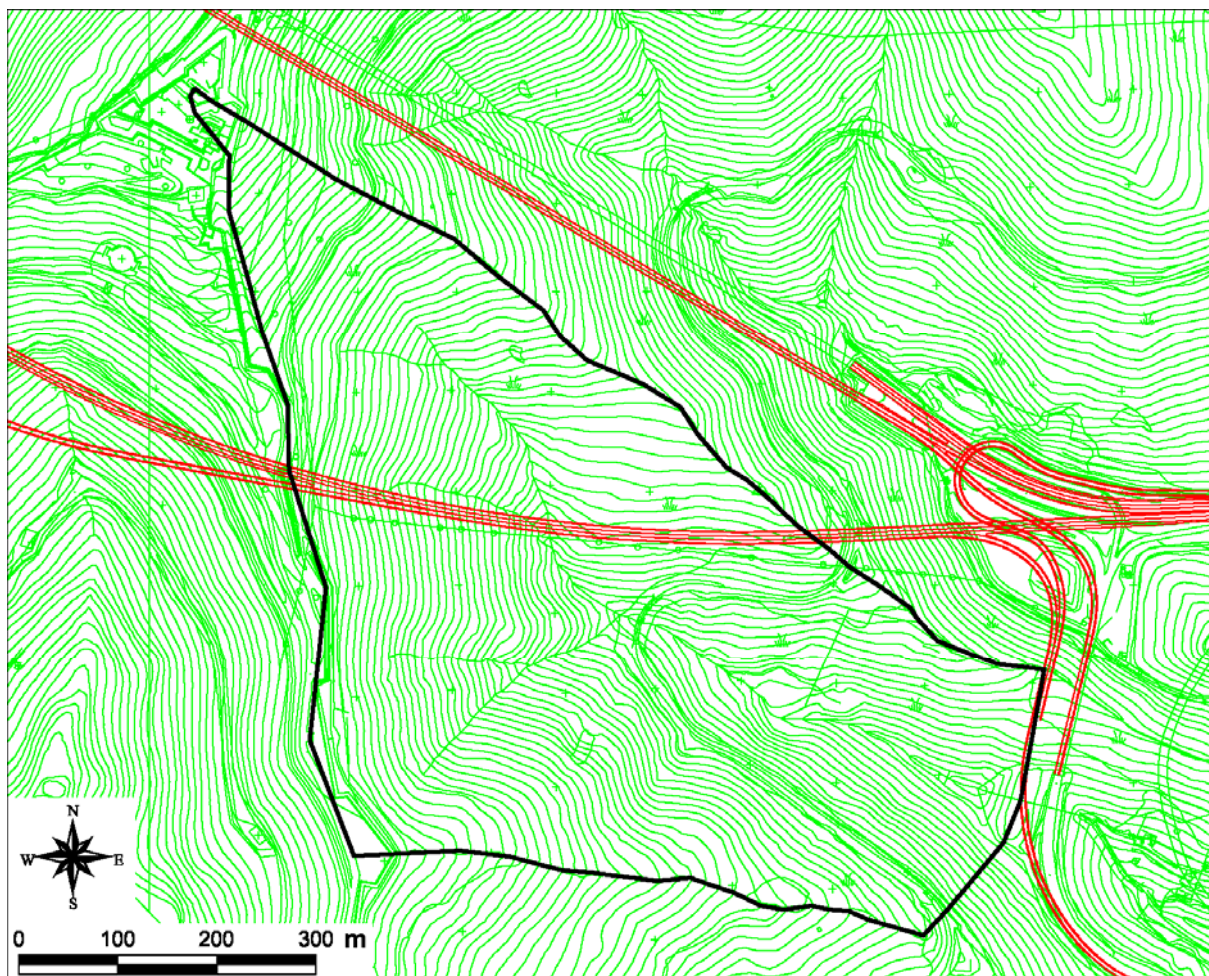


Figura 30 – Bacino imbrifero del rio interferente con il cantiere industriale CI06.

16.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

16.2.1 Stato di progetto

Nello stato di progetto è previsto il riempimento di un tratto d'asta di lunghezza pari a circa 327 m (fino immediatamente a monte del manufatto di attraversamento esistente), con il materiale di risulta proveniente dalla realizzazione delle gallerie; in tale condizione il fondo del rio viene innalzato di numerosi metri ed il corso d'acqua sistemato tramite la realizzazione di opere di rivestimento con un andamento altimetrico a salti di fondo del profilo longitudinale.

La modellizzazione idraulica per lo stato di progetto schematizza la canalizzazione del rio che sarà eseguita tramite una sistemazione idraulica costituita:

- nel tratto più a monte da un riempimento e successivo rivestimento dell'alveo inciso in gabbioni metallici (lunghezza di circa 144.0 m) secondo pendenza del 2%,

- a valle del precedente tratto viene realizzata una vasca di controllo del trasporto solido (lunghezza pari a 12.0 m e larghezza di 5.00 m) atta alla sedimentazione del materiale alluvionale trasportato dal rio in occasione di eventi di piena anche di modesta entità;
- a valle della vasca è previsto un tratto di canale in c.a. di sezione rettangolare avente dimensione di larghezza costante (pari a 4.0 m) e altezza variabile secondo valori compresi tra 3.6 - 6.9 m; tale canale si sviluppa secondo una pendenza del 2% compiendo alcuni salti di fondo di altezza di 2.5 m su di un'estensione di 96.0 m;
- il tratto canalizzato termina con un ulteriore rivestimento in gabbioni metallici di estensione pari a circa 80 m e pendenza del 2%;
- a valle del tratto precedente è previsto l'attraversamento autostradale, che avviene tramite un tombino scatolare in cls di dimensioni BxH=4.0x3.6 m di lunghezza complessiva di 62.8 m e pendenza del 2%;
- la sistemazione termina, a valle dell'attraversamento autostradale, con un tratto di canale in c.a. di lunghezza di poco superiore a 20 m sempre a sezione rettangolare BxH=4.0xvar. 8.5-3.6 m con pendenza de 2%, prima di raccordarsi al tratto esistente il canale compie 5 salti di fondo.

Il modello idraulico è composto di 43 sezioni trasversali (costituite dalle sezioni tipo di sistemazione indicate sul profilo longitudinale di progetto), che descrivono geometricamente gli interventi previsti sul corso d'acqua per un'estensione complessiva di circa 415 m.

Di seguito (Tabella 32) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
Inizio gabbioni	1	15.60	166.95	164.25
fine gabbioni monte salto	2	159.26	165.00	161.40
valle salto (inizio vasca controllo trasporto solido)	3	159.46	165.00	161.40
vasca trasporto solido	4	170.76	165.00	161.40
monte salto (fine vasca controllo trasporto solido)	5	171.26	165.00	161.40
valle salto	6	171.46	165.00	159.95
inizio canale monte salto	7	181.54	163.67	159.80
valle salto	8	181.74	163.67	157.30
monte salto	9	189.16	161.49	157.15
valle salto	10	189.36	161.49	154.65
monte salto	11	196.78	158.84	154.50
valle salto	12	196.98	158.84	152.00
monte salto	13	204.40	156.18	151.85
valle salto	14	204.60	156.18	149.35
monte salto	15	212.03	153.53	149.20
valle salto	16	212.23	153.53	146.70
monte salto	17	219.65	150.88	146.55
valle salto	18	219.85	150.88	144.05
monte salto	19	227.27	148.23	143.90

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
valle salto	20	227.47	148.23	141.40
monte salto	21	234.89	145.57	141.25
valle salto	22	235.09	145.57	138.75
monte salto	23	242.51	142.92	138.60
valle salto	24	242.71	142.92	136.10
monte salto	25	250.13	140.27	135.95
valle salto	26	250.33	140.27	133.45
monte salto	27	257.75	137.62	133.30
valle salto	28	257.95	137.62	132.35
fine canale inizio gabbioni	29	263.75	134.95	132.25
monte salto inizio scatolare 4.0X3.6	30	343.53	134.95	130.68
valle salto	31	343.73	134.95	123.93
	32	347.53	127.47	123.93
monte salto fine scatolare 4.0X3.6	33	410.32	126.21	122.67
inizio canale valle salto	34	410.52	126.21	119.17
monte salto	35	414.32	124.65	119.09
valle salto	36	414.52	124.65	117.59
monte salto	37	418.32	122.34	117.51
valle salto	38	418.52	122.34	116.01
monte salto	39	422.32	120.04	115.93
valle salto	40	422.52	120.04	114.15
monte salto	41	426.31	117.74	114.09
valle salto	42	426.51	117.74	109.31
fine canale	43	430.71	112.85	109.31

Tabella 32 - Profilo longitudinale del rio nello stato di progetto.

Il tratto di profilo schematizzato geometricamente nel modello di simulazione, rappresenta il corso d'acqua sistemato così come riportato negli elaborati di progetto IDR 0128 e 0132.

16.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 14.00 m³/s e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 15.60 m;
- scala di deflusso imposta nella sezione di valle (sez.43) a progressiva 430.71 m.

16.4 Coefficienti di resistenza distribuita

In conformità con quanto prescritto dal Regolamento regionale N.3, per il tratto sistemato in gabbioni metallici si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.033 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning). Per i tratti di tombino scatolare e di canale in cls si è assunta invece una scabrezza di Strickler di valore pari a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

16.5 Verifica della situazione di progetto

Dalla simulazione eseguita si può evincere che la piena è sempre contenuta nelle tipologie di sistemazione previste, transitando con franco minimo di 1.45 m nella sezione più a monte (sez.1) di modello in ragione dell'assunzione dell'altezza critica come condizione al contorno; per il resto del tratto si hanno franchi di sicurezza sempre superiori a 2.0 m.

La sezione di attraversamento rispetta le dimensioni minime ($B \times H = 2.0 \times 2.0 \text{ m}$) imposte dal Regolamento N.3; il corso d'acqua di secondo livello rispetta sempre abbondantemente il franco minimo tabulare imposto dal succitato Regolamento (0.5-1.0 m per sezioni aperte e 1.5-2.0 m per tratti tombinati); in generale viene rispettata anche la regola per cui il franco idraulico delle opere non deve essere inferiore al carico cinetico; fanno eccezione:

- la sezione 29 in cui il carico cinetico supera il franco di sicurezza di una quantità di 0.36 m;
- la sezione 32 in cui il carico cinetico supera il franco di sicurezza di una quantità di 1.89 m;
- la sezione 41 in cui il carico cinetico supera il franco di sicurezza di una quantità di 0.70 m;
- la sezione 42 in cui il carico cinetico supera il franco di sicurezza di una quantità di 0.18 m;
- la sezione 43 in cui il carico cinetico supera il franco di sicurezza di una quantità di 2.22 m.

Va specificato che malgrado tali valori di carico totale, le sezioni di deflusso delle opere in progetto fanno registrare un riempimento (rapporto tra tirante idrico e altezza dell'opera) variabile dal 3 al 25% accompagnato da franchi di sicurezza variabili da 2.02 m (sez.29) a 8.16 m (sez.42) e quindi non esiste alcun rischio idraulico per la sistemazione in progetto.

A supporto di quanto sopra detto si specifica inoltre che, in corrispondenza delle sezioni non verificate come carico cinetico, si registrano franchi rispetto all'altezza critica di:

- 1.45 m nella sezione 29;
- 2.47 m nella sezione 32;
- 2.58 m nella sezione 41;
- 7.36 m nella sezione 42;
- 2.47 m nella sezione 43.

Di seguito (Tabella 33 e Figura 31) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
Inizio gabbioni	1	15.60	166.95	14	164.25	165.50	165.50	166.04	0.0202	3.26	4.29	4.00	1.01	1.45
fine gabbioni monte salto	2	159.26	165.00	14	161.40	162.88	162.47	163.16	0.0076	2.37	5.90	4.00	0.62	2.12
valle salto (inizio vasca controllo trasporto solido)	3	159.46	165.00	14	161.40	162.87		163.16	0.0076	2.38	5.89	4.00	0.62	2.13
vasca trasporto solido	4	170.76	165.00	14	161.40	162.59	162.47	163.03	0.0138	2.93	4.77	4.00	0.86	2.41
monte salto (fine vasca controllo trasporto solido)	5	171.26	165.00	14	161.40	162.47	162.47	163.02	0.0187	3.26	4.29	4.00	1.00	2.53
valle salto	6	171.46	165.00	14	159.95	160.46	161.02	162.82	0.1662	6.81	2.06	4.00	3.03	4.54
inizio canale monte salto	7	181.54	163.67	14	159.80	160.49	160.87	161.80	0.0389	5.06	2.77	4.00	1.94	3.18
valle salto	8	181.74	163.67	14	157.30	157.70	158.37	161.53	0.2008	8.66	1.62	4.00	4.35	5.97
monte salto	9	189.16	161.49	14	157.15	157.66	158.22	160.09	0.1000	6.91	2.02	4.00	3.10	3.83
valle salto	10	189.36	161.49	14	154.65	155.01	155.72	159.82	0.2873	9.72	1.44	4.00	5.17	6.48
monte salto	11	196.78	158.84	14	154.50	154.96	155.57	157.86	0.1309	7.55	1.86	4.00	3.54	3.88
valle salto	12	196.98	158.84	14	152.00	152.35	153.07	157.59	0.3289	10.15	1.38	4.00	5.51	6.49
monte salto	13	204.40	156.18	14	151.85	152.30	152.92	155.39	0.1446	7.79	1.80	4.00	3.71	3.88
valle salto	14	204.60	156.18	14	149.35	149.69	150.42	155.12	0.3471	10.32	1.36	4.00	5.66	6.49
monte salto	15	212.03	153.53	14	149.20	149.64	150.27	152.82	0.1503	7.89	1.77	4.00	3.78	3.89
valle salto	16	212.23	153.53	14	146.70	147.04	147.77	152.54	0.3543	10.39	1.35	4.00	5.71	6.49
monte salto	17	219.65	150.88	14	146.55	146.99	147.62	150.20	0.1527	7.93	1.76	4.00	3.81	3.89
valle salto	18	219.85	150.88	14	144.05	144.39	145.12	149.92	0.3575	10.42	1.34	4.00	5.74	6.49
monte salto	19	227.27	148.23	14	143.90	144.34	144.97	147.56	0.1537	7.95	1.76	4.00	3.82	3.89
valle salto	20	227.47	148.23	14	141.40	141.74	142.47	147.28	0.3589	10.43	1.34	4.00	5.75	6.49
monte salto	21	234.89	145.57	14	141.25	141.69	142.32	144.92	0.1542	7.96	1.76	4.00	3.83	3.88

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda/intradosso manufatto	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
valle salto	22	235.09	145.57	14	138.75	139.09	139.82	144.64	0.3594	10.44	1.34	4.00	5.75	6.48
monte salto	23	242.51	142.92	14	138.60	139.04	139.67	142.27	0.1544	7.96	1.76	4.00	3.83	3.88
valle salto	24	242.71	142.92	14	136.10	136.44	137.17	141.99	0.3597	10.44	1.34	4.00	5.76	6.48
monte salto	25	250.13	140.27	14	135.95	136.39	137.02	139.62	0.1544	7.96	1.76	4.00	3.83	3.88
valle salto	26	250.33	140.27	14	133.45	133.79	134.52	139.34	0.3598	10.44	1.34	4.00	5.76	6.48
monte salto	27	257.75	137.62	14	133.30	133.74	134.37	136.97	0.1545	7.96	1.76	4.00	3.83	3.88
valle salto	28	257.95	137.62	14	132.35	132.74	133.42	136.84	0.2240	8.97	1.56	4.00	4.59	4.88
fine canale inizio gabbioni	29	263.75	134.95	14	132.25	132.93	133.50	135.32	0.1399	6.84	2.05	3.00	2.64	2.02
monte salto inizio scatolare 4.0X3.6	30	343.53	134.95	14	130.68	131.75	131.75	132.30	0.0187	3.26	4.29	4.00	1.01	3.20
valle salto	31	343.73	134.95	14	123.93	124.22	125.00	131.60	0.5633	12.04	1.16	4.00	7.12	10.73
	32	347.53	127.47	14	123.93	124.28	125.00	129.35	0.3117	9.98	1.40	4.00	5.38	3.19
monte salto fine scatolare 4.0X3.6	33	410.32	126.21	14	122.67	123.48	123.74	124.43	0.0239	4.30	3.26	4.00	1.52	2.73
inizio canale valle salto	34	410.52	126.21	14	119.17	119.54	120.24	124.06	0.2600	9.41	1.49	4.00	4.93	6.67
monte salto	35	414.32	124.65	14	119.09	119.52	120.16	122.94	0.1693	8.20	1.71	4.00	4.01	5.13
valle salto	36	414.52	124.65	14	117.59	117.95	118.66	122.76	0.2872	9.72	1.44	4.00	5.17	6.70
monte salto	37	418.32	122.34	14	117.51	117.93	118.58	121.54	0.1840	8.42	1.66	4.00	4.17	4.41
valle salto	38	418.52	122.34	14	116.01	116.36	117.08	121.36	0.3045	9.90	1.41	4.00	5.31	5.98
monte salto	39	422.32	120.04	14	115.93	116.34	117.00	120.07	0.1932	8.56	1.64	4.00	4.27	3.70
valle salto	40	422.52	120.04	14	114.15	114.49	115.22	119.86	0.3407	10.26	1.36	4.00	5.61	5.55
monte salto	41	426.31	117.74	14	114.09	114.49	115.16	118.43	0.2106	8.80	1.59	4.00	4.45	3.25
valle salto	42	426.51	117.74	14	109.31	109.58	110.38	117.92	0.6833	12.79	1.09	4.00	7.81	8.16
fine canale	43	430.71	112.85	14	109.31	109.65	110.38	115.06	0.3454	10.31	1.36	4.00	5.65	3.20

Tabella 33 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni nella situazione di progetto.

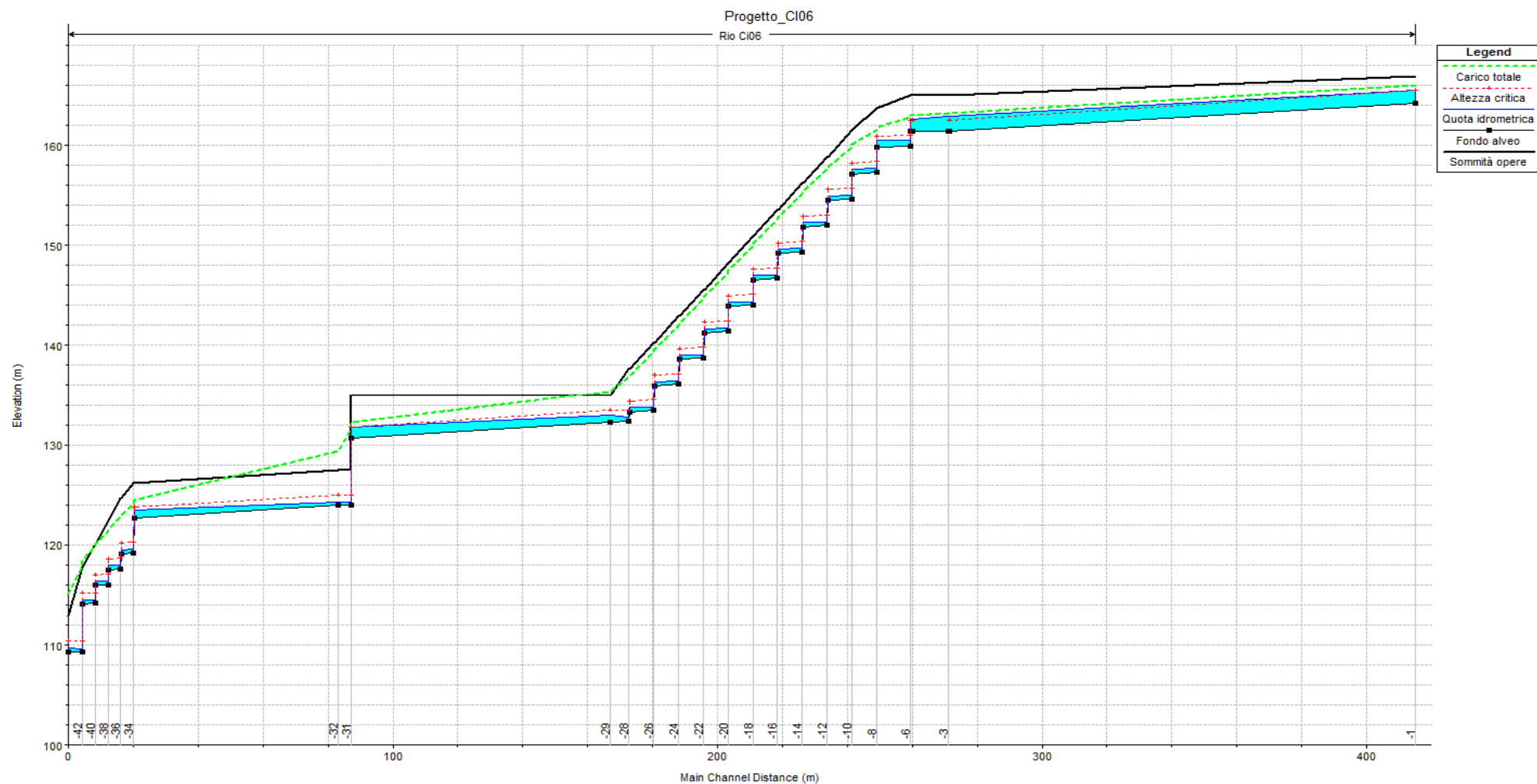


Figura 31 – Profilo idrometrico con tempo di ritorno 200 anni nella situazione di progetto.

17. INTERFERENZA VIADOTTO LEIRO OVEST

L'autostrada in progetto attraversa il torrente Leiro tramite un viadotto costituito da 4 campate di ampiezza variabile; il corso d'acqua viene scavalcato interamente dalla campata centrale, avente luce netta pari a circa 120 m; l'intradosso del viadotto è posizionato ad una quota di 86.84 m s.m., ad un'altezza superiore di circa 67.0 m rispetto alle sponde del corso d'acqua.

17.1 Analisi idrologica

Le portate di riferimento sono state desunte dai Piano di Bacino stralcio per la tutela dal Rischio Idrogeologico (Ambiti Regionali di Bacino 12 e 13).

Il modello redatto a cura della Provincia di Genova ha analizzato un tratto di corso d'acqua che si estende dall'abitato di Mele, a valle della confluenza dei torrenti Gorzezio e Acquasanta, fino alla confluenza in mar Ligure.

Le portate definite dal Piano e simulate attraverso il modello idraulico sono le seguenti:

- TR = 50 anni: 362 m³/s;
- TR = 200 anni: 453 m³/s;
- TR = 500 anni: 521 m³/s;

17.2 Stato di progetto

Per le opere in progetto in corrispondenza del Leiro non sono state prodotte analisi modellistiche, in quanto esse non modificano in alcun modo l'assetto idraulico del corso d'acqua previsto dal PAI; si sono invece consultati i risultati contenuti nelle simulazioni redatte dalla Provincia di Genova.

Il viadotto interferisce con il torrente Leiro in corrispondenza della sezione del PAI denominata LEI_S38 localizzata a monte dell'A26 esistente; il manufatto di attraversamento scavalca completamente il corso d'acqua senza interferire in alcun modo con il deflusso di piena a tempo di ritorno 200 anni, in quanto dai dati provenienti dall'attività modellistica sviluppata nel PAI e dalla geometria del viadotto in progetto si evince che:

- la piena è completamente contenuta in alveo nel tratto d'interesse (da LEI_Se43 a LEI_Se30);
- le pile dell'attraversamento in progetto ricadono al di fuori dell'alveo inciso del corso d'acqua.

L'elaborato IDR0108 mostra la posizione del viadotto rispetto all'alveo inciso del Leiro, in particolare la pila denominata P2 ricade ad una distanza di circa 5.0 m dal ciglio della sponda destra del torrente. La realizzazione della pila del manufatto rende necessaria la deviazione planimetrica (di qualche metro) di un canale artificiale esistente di dimensioni BxH=2.6x1.0 m, che viene posizionato esternamente alla pila del viadotto.

Al fine di garantire inoltre la stabilità planimetrica della stessa sponda destra (a protezione del canale e della pila del viadotto) viene realizzata un'opera di difesa costituita da una paratia di micropali collegata in sommità da un cordolo di collegamento in c.a. di dimensioni BxH=0.8x0.8 m. Questo intervento non ostacola in alcun modo il deflusso della corrente rispetto alla situazione di stato attuale; infatti la difesa viene realizzata in asse al muro in c.a. esistente. Pertanto il corso d'acqua nella configurazione di progetto coincide idraulicamente con quella di stato attuale, senza modificare la larghezza trasversale del pelo acqua pari a circa 31.0 m. Il livello della simulazione (Tr 200 anni) del PAI pari a 17.68 m s.m. non viene pertanto alterato dalla presenza dell'opera di difesa. Il franco idraulico dell'opera di attraversamento in progetto è superiore a 69 m.

18. INTERFERENZA TORRENTE VARENNA

18.1 Analisi idrologica

Nel Piano di Bacino del torrente Varenna² vengono definiti i valori di portata di piena del torrente Varenna in corrispondenza della sezione D, immediatamente a monte della confluenza del rio Lavino e pertanto nei pressi dell'attraversamento in progetto e della sezione E posta più a valle (vedi Tabella 34).

Tempo di ritorno (anni)	Q – Varenna sezione D (m ³ /s)	Q - Lavino (m ³ /s)	Q – Varenna sezione E (m ³ /s)
5	112	6	113
10	157	9	159
20	201	12	204
25	215	13	220
50	250	16	260
100	272	28	285
200	311	33	320
500	364	39	375

Tabella 34 – Portate di assegnato tempo di ritorno del torrente Varenna e del rio Lavino nei pressi dell'attraversamento in progetto.

L'opera in progetto è costituita da due viadotti ad unica campata di ampiezza pari a 70 m (uno per la carreggiata Est ed uno per quella Ovest), che scavalcano completamente l'alveo del torrente; le verifiche sono state eseguite per la portata a tempo di ritorno di 200 anni.

² Provincia di Genova, Comitato Tecnico Provinciale – Torrente Varenna, Piano di bacino stralcio per la difesa idrogeologica, geomorfologica, per la salvaguardia della rete idrografica e per la compatibilità delle attività estrattive – Allegato 2, Pluviometria e idrometria.

18.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

La geometria del torrente Varenna è stata descritta sulla base del rilievo topografico eseguito appositamente per il presente progetto. Esso è composto da 10 sezioni trasversali che descrivono geometricamente il corso d'acqua per un'estensione complessiva di circa 412 m, rappresentandolo nello stato attuale. Il corso d'acqua nel tratto più a monte (da sez.1 a sez.5) è caratterizzato da una pendenza di fondo quasi costante pari al 3.85 %; tra le sez.5 e 6 si riscontra un brusco cambio di pendenza pari ad un valore di 7.4 %. Nel tratto terminale (da sez.6 a sez.10) la pendenza media risulta circa equivalente al tratto di monte corrispondente ad un valore di 3.4 %.

Il tratto compreso tra le sez.1 e 4 è caratterizzato da una sezione incisa di geometria trapezia di ampiezza in sommità pari a circa 25 m; nel tratto rimanente la sezione incisa è ancora di geometria trapezia con larghezza in sommità variabile tra i 22 ed i 30 m.

In corrispondenza della sez.6 il torrente Varenna riceve gli apporti di piena di un suo affluente di sinistra, il rio Lavino. Lungo il torrente Varenna, sempre in sinistra idraulica, è presente una viabilità minore (via Carpenara), che si sviluppa in affiancamento al corso d'acqua; il piano viabile dell'infrastruttura si mantiene a quota sempre superiore di 7.0 m rispetto al fondo alveo del torrente.

Di seguito (Tabella 37) si riporta il profilo longitudinale del modello di stato attuale del Varenna in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica e quota di fondo (thalweg).

Sezione (-)	Progressiva (m)	Quota viabile via Carpenara (m s.m.)	Quota fondo alveo (m s.m.)
1	0.00	118.84	106.70
2	44.42	116.46	104.82
3	85.63	113.95	103.02
4	129.96	111.02	100.82
5	172.34	110.11	100.05
6	211.86	109.69	97.13
7	260.83	106.82	96.13
8	330.23	103.25	93.47
9	369.72	100.65	92.48
10	411.52	97.51	90.41

Tabella 35 - Profilo longitudinale del torrente Varenna nello stato attuale.

18.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 311.00 m³/s e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez. 1);

- incremento di portata nella sez.6 per effetto della confluenza del rio Lavino, ad ottenere un valore al colmo complessivo a valle costante di $320.00 \text{ m}^3/\text{s}$;
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez.10) a progressiva 411.52 m.

La validità della condizione al contorno di valle è assicurata dall'assenza di manufatti o restringimenti della sezione del corso d'acqua che ne alterino le condizioni di moto uniforme assunte.

18.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per l'alveo attivo si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a $25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.04 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

18.5 Verifica nella situazione attuale

La simulazione duecentennale eseguita mostra che la piena transita abbondantemente contenuta tra le sponde del corso d'acqua con franchi (sia rispetto alle quote idrometriche che al carico totale) di numerosi metri rispetto alla sommità delle sponde stesse). In particolare in sponda sinistra, la strada Carpenara presenta franchi idraulici di sicurezza sempre abbondantemente superiori a 4.0 m rispetto alle quote idrometriche della piena TR200 anni e soltanto nella sez.10 al termine del modello il franco di sicurezza è pari ad un valore di 4.03 m.

La piena defluisce lungo l'intero tratto simulato secondo un moto in corrente veloce, caratterizzato da velocità comprese tra 5.3 e 8.4 m/s e numeri di Froude tra 1.37 e 1.99 (ad esclusione del valore nella prima sezione di monte in cui si è imposta l'altezza critica).

Di seguito (Tabella 36 e Figura 32) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Sezione (-)	Progr. (m)	Quota viabile via Carpenara (m s.m.)	Portata (m ³ /s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m ²)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)
1	0.00	118.84	311.00	106.70	110.32	110.32	111.75	0.013	5.29	58.79	20.60	1.00
2	44.42	116.46	311.00	104.82	107.88	108.74	110.69	0.038	7.44	41.81	20.26	1.65
3	85.63	113.95	311.00	103.02	105.17	106.25	108.74	0.056	8.38	37.13	20.65	1.99
4	129.96	111.02	311.00	100.82	103.59	104.44	106.39	0.041	7.41	41.99	21.47	1.69
5	172.34	110.11	311.00	100.05	102.77	103.29	104.77	0.026	6.26	49.64	23.37	1.37
6	211.86	109.69	320.00	97.13	101.23	101.88	103.63	0.030	6.87	46.58	19.37	1.41
7	260.83	106.82	320.00	96.13	99.49	100.29	102.15	0.030	7.22	44.32	18.50	1.49
8	330.23	103.25	320.00	93.47	96.96	97.84	99.85	0.036	7.53	42.50	17.76	1.55
9	369.72	100.65	320.00	92.48	95.65	96.55	98.46	0.033	7.42	43.10	18.31	1.54
10	411.52	97.51	320.00	90.41	93.48	94.57	96.81	0.044	8.08	39.61	18.29	1.75

Tabella 36 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del torrente Varena nello stato attuale.

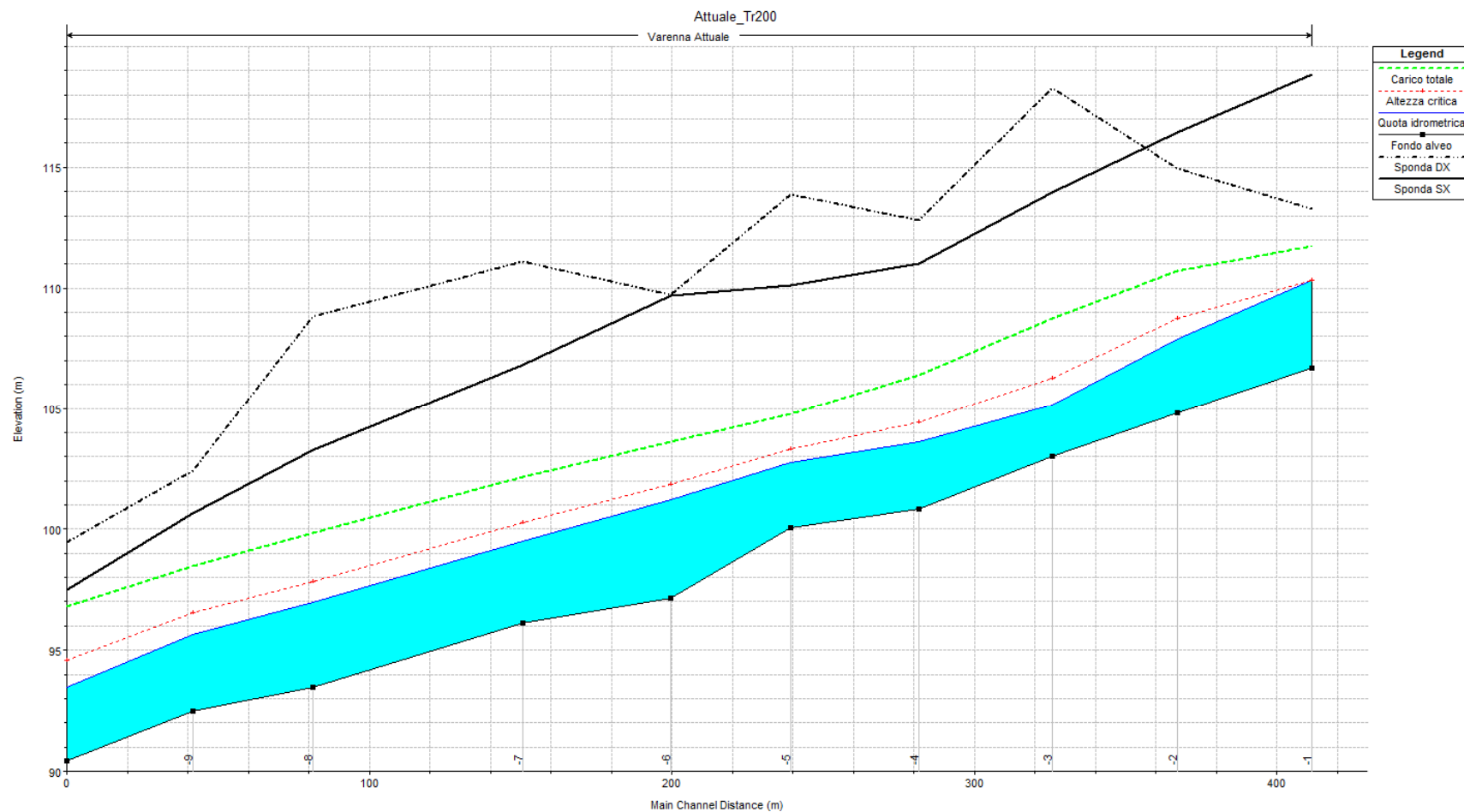


Figura 32 – Profilo idrometrico con tempo di ritorno 200 anni per il torrente Varena nello stato attuale.

18.6 Verifica nella situazione di progetto

Lo stato di progetto è rappresentato dalla presenza dei viadotti che scavalcano completamente l'alveo del Varenna; visto che la piena a tempo di ritorno 200 anni è completamente contenuta nell'alveo inciso non sono individuabili interferenze tra le opere in progetto e il deflusso a tempo di ritorno 200 anni in quanto le spalle degli attraversamenti sono ubicate in aree non esondabili. Sulla base di quanto sopra detto non si è pertanto eseguita alcuna simulazione, pur verificando il franco di sicurezza delle opere.

I viadotti attraversano il Varenna a valle della confluenza del rio Lavino, circa in corrispondenza della sezione 6; il calcolo del franco dell'attraversamento è stato tuttavia, a titolo cautelativo, eseguito utilizzando il livello idrometrico che si genera nella sezione 5 localizzata a monte della confluenza dello stesso Lavino; la quota idrometrica a tempo di ritorno 200 anni è pari a 102.77 m s.m. che confrontata con gli intradossi degli impalcati a quota 119.00 m s.m. per la carreggiata Est e 119.15 m s.m. per quella Ovest conferiscono rispettivamente franchi di sicurezza pari a 16.23 e 16.38 m.

19. PROTEZIONE PILE IN ALVEO TORRENTE SECCA

19.1 Analisi idrologica

Nel Piano di Bacino del torrente Polcevera vengono definiti i seguenti valori di portata di piena del torrente Secca alla confluenza con il torrente Polcevera:

- TR = 50 anni: 620 m³/s;
- TR = 200 anni: 770 m³/s;
- TR = 500 anni: 900 m³/s;

Visto che i viadotti autostradali in esame attraversano il torrente Secca soltanto circa 1 km a monte della confluenza nel torrente Polcevera, cautelativamente si assume come portata di progetto quella sopra definita per tempo di ritorno 200 anni:

$$Q_{\text{progetto}} = 770 \text{ m}^3/\text{s}.$$

19.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

La geometria del torrente Secca è stata descritta sulla base del rilievo topografico eseguito appositamente per il presente progetto, nel novembre 2010.

Esso è composto da 11 sezioni trasversali lineari e da un piano quotato che comprende ampiamente l'area di progetto sia a monte che a valle; le sezioni trasversali descrivono geometricamente il corso d'acqua per un'estensione complessiva di circa 634 m, rappresentandolo nello stato attuale in termini di opere idrauliche e

manufatti di attraversamento presenti. Il fondo del corso d'acqua nel tratto oggetto di indagine è fissato altimetricamente da 3 briglie, localizzate:

- tra le sezioni 1 e 2 all'inizio del rilievo a monte, di altezza pari a circa 0.65 m;
- tra le sezioni 7 e 8, immediatamente a valle del viadotto autostradale A7 oggetto di ampliamento, di altezza pari a circa 1.85 m;
- tra le sezioni 10 e 11 nel tratto terminale di valle del modello di altezza pari a 1.65 m.

Le opere trasversali di controllo del fondo alveo sopra descritte conferiscono all'alveo una pendenza del 1.18% nel tratto compreso tra le sezioni 2 e 7 (ove sono presenti i manufatti di attraversamento) e dello 0.3 % nel tratto di valle (tra le sezioni 8 e 10).

Nel tratto di corso d'acqua compreso tra le sezioni 2 e 7 sono presenti i due manufatti di attraversamento dell'autostrada A7:

- il primo viadotto (sezione 4) è costituito da 9 campate, con 3 pile circolari di diametro pari a 3.4 m che ricadono nell'alveo di piena del Secca;
- il secondo viadotto a valle del precedente (sezione 6) è costituito da 7 campate con le 6 pile che interferiscono con il deflusso di piena del corso d'acqua; le pile dell'attraversamento di monte sono allineate con quelle del viadotto di valle.

Il torrente Secca è canalizzato tra le opere di contenimento dei livelli esistenti, costituite da muri arginali in cls; tutti gli interventi di adeguamento idraulico per la piena con tempo di ritorno 200 anni, in riferimento al tratto in studio, sono già stati realizzati così come descritto nel Piano di Assetto Idrogeologico redatto a cura della Provincia di Genova.

Di seguito (Tabella 37) si riporta il profilo longitudinale del modello di stato attuale del Secca in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica e quota di fondo (thalweg).

Note (-)	Sezione	Progr. (m)	Quota argine sx (m s.m.)	Quota argine dx (m s.m.)	Quota fondo alveo (m s.m.)
monte briglia	1	0.00	63.01	63.42	58.77
valle briglia	2	5.75	62.96	63.36	58.13
	3	120.19	61.98	62.02	57.22
monte viadotto A7	4.1	212.73	60.66	61.21	55.96
valle viadotto A7	4.2	228.73	60.66	61.21	55.83
	5	234.44	60.51	60.96	55.71
monte viadotto A7	6.1	250.58	59.98	61.77	55.66
valle viadotto A7	6.2	275.58	59.98	61.77	55.50
monte briglia	7	307.32	59.90	60.24	55.22
valle briglia	8	309.36	59.88	60.20	53.36
	9	415.72	58.85	63.12	53.31
monte briglia	10	538.55	57.62	58.06	52.67
valle briglia	11	545.01	57.02	57.98	51.03
condizione contorno	12	634.01	56.75	57.71	50.76

Tabella 37 - Profilo longitudinale del torrente Secca nello stato attuale.

Lo stato di progetto è stato rappresentato nel modello con la presenza del viadotto autostradale A7 (sezione 6) con le pile ampliate di una quantità variabile da circa 8.0 a 21.0 m verso valle.

Il viadotto ampliato è stato inserito tra le sezioni di controllo denominate 6.1 e 6.2, localizzate tra loro ad una distanza tale da ospitare la nuova struttura di attraversamento senza che venga modificata la loro progressiva metrica rispetto a quella dello stato attuale. La nuova struttura verrà ampliata verso valle di una quantità variabile da circa 21.0 a 8.0 m in termini di lunghezza delle pile, lasciando inalterata la geometria trasversale della struttura, caratterizzata da una luce di circa 21 m per ciascuna delle 5 campate in alveo di piena e di circa 13,8 m per quelle adiacenti alle spalle, localizzate esternamente alle opere di contenimento dei livelli. L'intradosso dell'impalcato è localizzato ad una quota pari a 65.22 m s.m.

19.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a $770 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez. 1);
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez.12) alla progressiva 634.01 m.

Il modello, al fine di una corretta esecuzione del calcolo idraulico, è stato esteso verso valle rispetto alle sezioni di rilievo eseguite in situ, poiché è presente un'opera idraulica (briglia tra le sez.10 e 11); si è quindi ricavata dal piano quotato disponibile una nuova sezione (denominata "condizione al contorno") ad una distanza di 89 m a valle del piede della briglia esistente.

19.4 Coefficienti di resistenza distribuita

La zona oggetto del presente progetto è situata in un'area fortemente urbanizzata della città di Genova, in cui il corso d'acqua scorre canalizzato tra opere di contenimento dei livelli in cls che lo limitano in destra a e sinistra idraulica.

Per l'alveo di piena si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a $25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.04 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

Per i manufatti di attraversamento, si è assunta in corrispondenza delle sole spalle e pile una scabrezza di circa $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

19.5 Verifica nella situazione attuale

La simulazione duecentennale eseguita mostra che la piena transita abbondantemente contenuta tra le opere di arginatura del corso d'acqua; si riscontrano franchi minimi dell'argine sinistro in corrispondenza delle sez.

4.1 (monte viadotto a 3 campate A7) pari a 0.70 m e sez.6.2 (valle viadotto A7 in ampliamento) pari a 0.68 m; nel restante tratto si riscontrano franchi di sicurezza compresi tra 0.8 e 2.5 m.

La piena defluisce lungo l'intero tratto simulato secondo un moto in corrente lenta, caratterizzato da velocità comprese tra 2.7 e 4.9 m/s; viene raggiunta l'altezza critica unicamente nella sez.10 in corrispondenza della briglia localizzata più a valle.

Le 2 opere autostradali sono idraulicamente verificate in quanto il loro intradosso si trova a quota superiore di numerosi metri rispetto alle sommità arginali.

Di seguito (Tabella 38 e Figura 33) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Note (-)	Sezione (-)	Progr. (m)	Quota argine sx (m s.m.)	Quota argine dx (m s.m.)	Portata (m³/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m²)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)	Franco argine sx (m)	Franco argine dx (m)
monte briglia	1	0.00	63.01	63.42	770	58.77	61.26	61.26	62.31	0.013	4.55	169.30	80.50	1.00	1.75	2.16
valle briglia	2	5.75	62.96	63.36	770	58.13	61.03	60.52	61.72	0.006	3.67	209.81	79.83	0.72	1.93	2.33
	3	120.19	61.98	62.02	770	57.22	60.13	59.75	60.92	0.008	3.92	196.55	77.27	0.78	1.85	1.89
monte viadotto A7	4.1	212.73	60.66	61.21	770	55.96	59.96	58.73	60.40	0.003	2.93	262.84	78.44	0.51	0.70	1.25
valle viadotto A7	4.2	228.73	60.66	61.21	770	55.83	59.70	58.60	60.18	0.003	3.06	251.99	78.33	0.54	0.96	1.51
	5	234.44	60.51	60.96	770	55.71	59.69	58.56	60.15	0.003	3.00	256.97	79.90	0.53	0.82	1.27
monte viadotto A7	6.1	250.58	60.51	61.77	770	55.66	59.70	58.23	60.08	0.002	2.74	280.51	77.59	0.46	0.81	2.07
valle viadotto A7	6.2	275.58	59.98	61.77	770	55.50	59.30	58.07	59.74	0.003	2.94	261.68	77.46	0.51	0.68	2.47
monte briglia	7	307.32	59.90	60.24	770	55.22	58.64	58.09	59.48	0.007	4.07	189.29	62.38	0.75	1.26	1.60
valle briglia	8	309.36	59.88	60.20	770	53.36	58.63	56.92	59.07	0.002	2.95	261.14	62.19	0.46	1.25	1.57
	9	415.72	58.85	63.12	770	53.31	57.11	56.71	58.16	0.008	4.54	169.71	53.75	0.82	1.74	6.01
monte briglia	10	538.55	57.62	58.06	770	52.67	55.71	55.71	56.92	0.012	4.87	157.97	65.06	1.00	1.91	2.35
valle briglia	11	545.01	57.02	57.98	770	51.03	55.51	54.16	56.01	0.003	3.13	245.85	65.44	0.52	1.51	2.47
condizione contorno	12	634.01	56.75	57.71	770	50.76	55.24	53.90	55.75	0.003	3.15	245.91	65.44	0.52	1.51	2.47

Tabella 38 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del torrente Secca nello stato attuale.

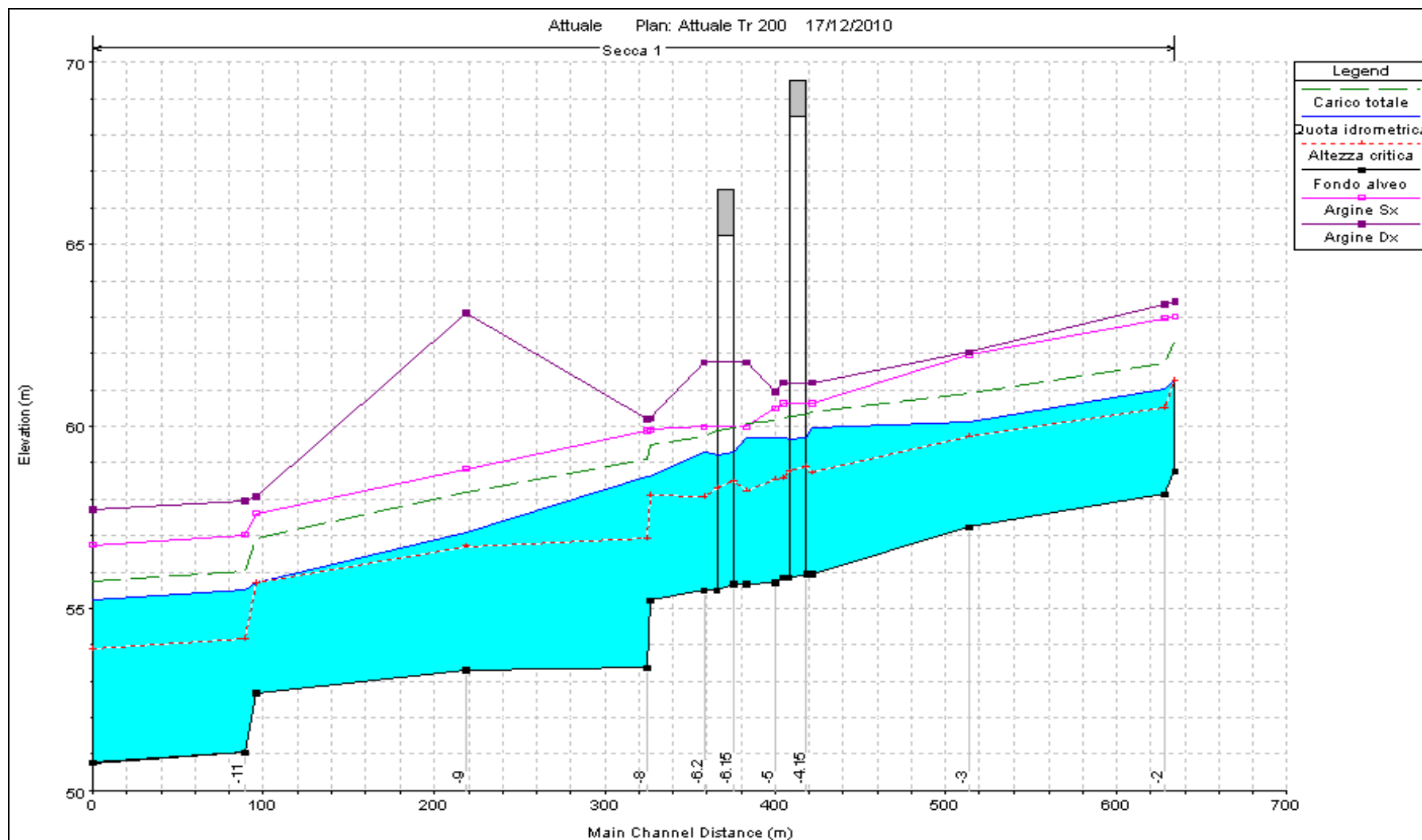


Figura 33 – Profilo idrometrico con tempo di ritorno 200 anni per il torrente Secca nello stato attuale.

19.6 Verifica nella situazione di progetto (ampliamento viadotto A7)

La simulazione di progetto prevede il viadotto A7 localizzato nella sezione 6, ampliato verso valle.

L'ampliamento dell'opera induce un rigurgito trascurabile verso monte, rispetto al profilo idrometrico di stato attuale, compreso tra valori di 0.02 e 0.04 m (come mostrato dalla colonna "rigurgito indotto" della tabella dei risultati di seguito allegata). La dinamica del deflusso di piena è pertanto equivalente a quella di stato attuale: in ragione del rigurgito indotto il franco in sinistra nella sezione 4.1 passa da 0.70 m (stato attuale) a 0.67 m.

Di seguito (Tabella 39 e Figura 34) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Note (-)	Sezione	Progr. (m)	Quota argine sx (m s.m.)	Quota argine dx (m s.m.)	Portata (m ³ /s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m ²)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)	Franco argine sx (m)	Franco argine dx (m)	Rigurgito indotto (m)
monte briglia	1	0.00	63.01	63.42	770	58.77	61.26	61.26	62.31	0.013	4.55	169.30	80.50	1.00	1.75	2.16	0.00
valle briglia	2	5.75	62.96	63.36	770	58.13	61.03	60.52	61.72	0.006	3.67	209.53	79.83	0.72	1.93	2.33	0.00
	3	120.19	61.98	62.02	770	57.22	60.15	59.75	60.92	0.007	3.89	198.11	77.27	0.77	1.83	1.87	0.02
monte viadotto A7	4.1	212.73	60.66	61.21	770	55.96	59.99	58.73	60.42	0.003	2.91	264.95	78.45	0.50	0.67	1.22	0.03
valle viadotto A7	4.2	228.73	60.66	61.21	770	55.83	59.74	58.60	60.20	0.003	3.02	255.10	78.34	0.53	0.92	1.47	0.04
	5	234.44	60.51	60.96	770	55.71	59.73	58.56	60.18	0.003	2.96	260.20	79.90	0.52	0.78	1.23	0.04
monte viadotto A7	6.1	250.58	60.51	61.77	770	55.66	59.74	58.23	60.11	0.002	2.71	283.62	77.61	0.45	0.77	2.03	0.04
valle viadotto A7	6.2	275.58	59.98	61.77	770	55.50	59.30	58.07	59.74	0.003	2.94	261.68	77.46	0.51	0.68	2.47	0.00
monte briglia	7	307.32	59.90	60.24	770	55.22	58.64	58.09	59.48	0.007	4.07	189.29	62.38	0.75	1.26	1.60	0.00
valle briglia	8	309.36	59.88	60.20	770	53.36	58.63	56.92	59.07	0.002	2.95	261.14	62.19	0.46	1.25	1.57	0.00
	9	415.72	58.85	63.12	770	53.31	57.11	56.71	58.16	0.008	4.54	169.71	53.75	0.82	1.74	6.01	0.00
monte briglia	10	538.55	57.62	58.06	770	52.67	55.71	55.71	56.92	0.012	4.87	157.97	65.06	1.00	1.91	2.35	0.00
valle briglia	11	545.01	57.02	57.98	770	51.03	55.51	54.16	56.01	0.003	3.13	245.85	65.44	0.52	1.51	2.47	0.00
condizione contorno	12	634.01	56.75	57.71	770	50.76	55.24	53.90	55.75	0.003	3.15	245.91	65.44	0.52	1.51	2.47	0.00

Tabella 39 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del torrente Secca nello stato di progetto.

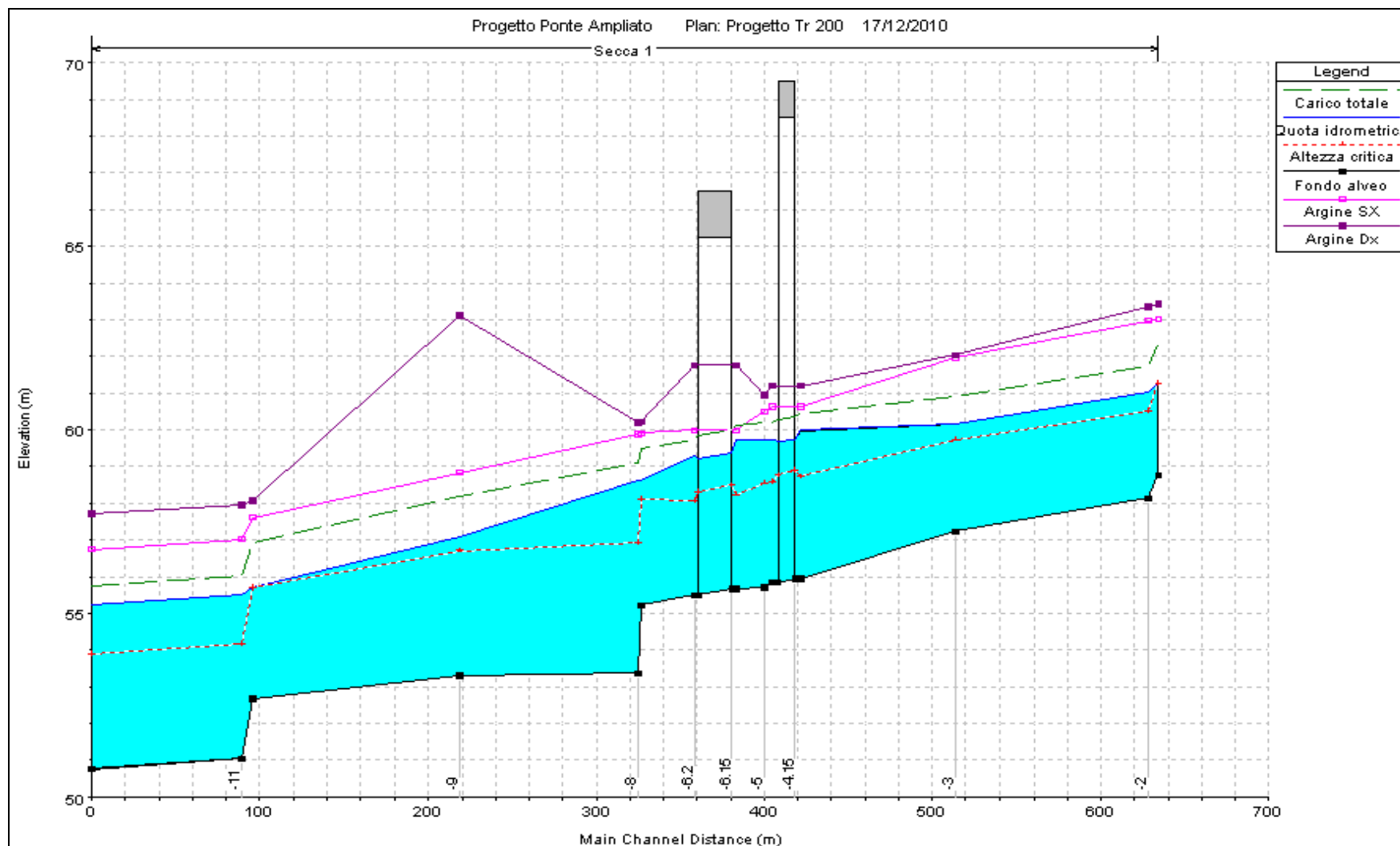


Figura 34 – Profilo idrometrico con tempo di ritorno 200 anni per il torrente Secca nello stato di progetto.

19.7 Analisi dello scalzamento al piede delle fondazioni

Lo scalzamento delle pile dei ponti è un complesso fenomeno idraulico legato al trasporto solido e all'erosibilità del materiale di fondo alveo.

Causa dell'erosione del fondo è il "vortice a ferro di cavallo" che si forma attorno alla pila per l'effetto localizzato della presenza di un ostacolo nella corrente idrica.

La dimensione del vortice e la massima profondità dell'erosione sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della corrente, dalla forma geometrica dell'ostacolo e dalle caratteristiche del materiale di fondo alveo.

Il fenomeno di scalzamento è progressivo nel tempo ed è soggetto ad un'alternanza di condizioni di erosione e di deposito di materiale nella buca al piede della pila, determinata dal regime idrologico cui è soggetto il corso d'acqua e quindi dal manifestarsi di eventi caratterizzati da portate di entità differente.

La profondità massima che viene calcolata attraverso le formule rappresenta una condizione ultima di equilibrio cui tende il fenomeno: per tale motivo risulta sufficientemente cautelativo fare riferimento a condizioni idrodinamiche della corrente che abbiano probabilità di manifestarsi pari a quelle dell'evento di piena di progetto.

Sulla base di un'approfondita indagine di letteratura sulle formule empiriche ed i metodi di calcolo più diffusamente adottati per il calcolo della massima profondità di erosione prevedibile al piede delle pile dei ponti, sono stati scelti ed utilizzati i metodi di Yaroslavtziev, Holmes e Breusers.

Rispetto ad una copiosa parte di formulazioni riportate in letteratura che spesso legano il massimo scalzamento solamente alle dimensioni trasversali dell'ostacolo in alveo, le formule adottate tengono conto sia delle caratteristiche idrodinamiche di deflusso della corrente di piena di riferimento, che della granulometria del materiale di fondo, che dello sviluppo longitudinale delle opere di fondazione.

19.7.1 Condizioni fisiche di riferimento

Lo sviluppo del fenomeno di erosione al piede delle pile dei ponti è continuo nel tempo seguendo un trend di evoluzione temporale fortemente dipendente dalla variabilità delle condizioni idrologiche di contorno.

L'assegnazione di una portata di calcolo di riferimento risulta quindi problematica in quanto si tratta di assegnare una condizione sufficientemente cautelativa ma che al tempo stesso non abbia bassissima probabilità di manifestarsi.

La portata massima al colmo è un evento che si manifesta istantaneamente nel corso d'acqua, o almeno per il tempo di persistenza del colmo che è comunque una caratteristica idrologica molto differente da bacino a bacino dipendendo dalla fenomenologia di formazione dell'onda di piena: per queste caratteristiche non risulterebbe quindi teoricamente adeguata al calcolo dello scalzamento.

I fenomeni di erosione in alveo sono comandati, secondo l'accezione scientifica attuale, da un valore di portata, detto "dominante", che è quello che determina la massima movimentazione di materiale di fondo nel tempo.

Tale valore della portata (che ad esempio per corsi d'acqua con caratteristiche idrologiche pedemontane corrisponde generalmente al valore del deflusso che ha mediamente persistenza in alveo per un quarto dell'anno, cioè la portata di morbida Q91 sulla scala di durata delle portate) non tiene però in conto l'effetto di scalzamento prodotto da eventi puntuali nel tempo particolarmente gravosi.

In definitiva, al fine di fare riferimento ad una condizione idrologica sufficientemente gravosa ma non tale da corrispondere ad un eccesso di cautela nel sovradimensionamento delle opere, si è adottata come condizione idraulica di riferimento per il calcolo dello scalzamento quella prodotta dal transito in condizioni stazionarie della portata di piena di progetto a tempo di ritorno 200 anni.

Di seguito si descrivono le formulazioni utilizzate per la valutazione dello scavo potenziale intorno alle fondazioni degli attraversamenti considerati.

19.7.2 Metodologie applicate

Formula di Breusers

La formula di Breusers è una delle espressioni recenti più diffusamente applicate nell'ingegneria per la valutazione dell'erosione localizzata al piede delle pile.

In effetti l'impostazione del metodo di calcolo e la dipendenza del fenomeno da una serie ben definita di caratteristiche idrauliche, geometriche e sedimentologiche del sito rappresentano lo stato più avanzato della pratica di calcolo, rimanendo i singoli parametri che determinano lo scalzamento oggetto di continue revisioni alla luce di nuovi risultati su sperimentazioni modellistiche di laboratorio e di nuovi dati di campo.

La formula proposta da Breusers è la seguente:

$$d_s = 2 \cdot b \cdot \tanh\left(\frac{Y_0}{b}\right) \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \quad [1]$$

nella quale:

d_s = profondità di scalzamento a partire dal fondo alveo medio locale;

Y_0 = profondità media della corrente indisturbata;

b = larghezza della pila;

f_1 = parametro che tiene conto della capacità erosiva della corrente in rapporto alla velocità critica di trasporto;

$f_1 = f(U/U_c)$:

$f_1 = 0$ per $U/U_c < 0.5$;

$f_1 = 2(U/U_c) - 1$ per $0.5 < U/U_c < 1.0$;

$f_1 = 1$ per $U/U_c > 1.0$; [2]

U= velocità della corrente indisturbata;

U_c= velocità critica della corrente:

$$U_c = 5 \cdot \sqrt{D}; \quad [3]$$

D= diametro caratteristico del materiale;

f₂= parametro che tiene conto della forma della pila:

f₂ = f(pila):

$$\begin{aligned} f_2 &= 1 && \text{per pila circolare;} \\ f_2 &= 0.75 && \text{per pila sagomata idraulicamente;} \\ f_2 &= 1.30 && \text{per pila rettangolare;} \end{aligned} \quad [4]$$

f₃= parametro di forma della pila:

$$f_3 = f(l/b \cdot \alpha); \quad [5]$$

f₄= parametro che tiene conto dell' "effetto gruppo" e cioè della mutua vicinanza tra le pile attraverso il rapporto tra la larghezza della singola pila e l'interasse (da Elliot e Baker):

f₄ = f(x/b):

$$\begin{aligned} f_4 &= 1 + \frac{1.79}{\left(\frac{x}{b} - 1\right)^{0.695}} && \text{per } x/b < 4; \\ f_4 &= 2.95 - 0.278 \cdot \left(\frac{x}{b}\right) && \text{per } 4 < x/b < 7; \\ f_4 &= 1 && \text{per } x/b > 7; \end{aligned} \quad [6]$$

Il parametro f₃ è dato da un diagramma riportato in bibliografia da diversi Autori: per angolo di attacco della corrente nullo (α=0) il parametro f₃ vale 1.

Formula di Holmes

Holmes, elaborando i dati del rilevamento diretto dello scalzamento di 36 ponti crollati in Nuova Zelanda, è pervenuto alla seguente formula:

$$H_s = H_{sl} + d_{s0} \quad [7]$$

nella quale:

H_s= profondità di scalzamento valutata dalla quota di pelo libero della piena di riferimento;

H_{sl}= profondità dello scalzamento medio del fondo in corrispondenza della pila dovuto all'erosione generalizzata del fondo;

d_{s0}= profondità dell'erosione localizzata ai piedi della pila a partire dalla quota prodotta da H_{sl}.

Il termine H_{sl} è il maggiore tra i valori forniti dalle due seguenti espressioni:

$$H_{sl} = Y_0 \quad [8]$$

$$H_{sl} = y_r \cdot \frac{V_{0'}}{\left(\sqrt{g \cdot \frac{A}{B}} \cdot K_H\right)} \quad [9]$$

nelle quali:

Y₀= profondità della corrente di piena indisturbata;

y_r= differenza tra il livello idrico medio ed il livello di piena;

A= area della sezione trasversale della corrente indisturbata;

B= larghezza della sezione trasversale;

$V_{0'}$ = velocità caratteristica della corrente in piena:

$$V_{0'} = \frac{Q}{A} \cdot \left[\frac{Y_0}{\frac{A}{B}} \right]^{2/3} \cdot C_H ; \quad [10]$$

Q= portata di piena di calcolo;

C_H = parametro che vale 1.2 per correnti convergenti e 1.0 negli altri casi;

K_H = parametro che rappresenta la capacità di trasporto della corrente:

$$K_H = \sqrt{\frac{B}{B_r}} \cdot \text{nella quale:} \quad [11]$$

$$B_r = 4.85 \cdot \sqrt{Q} . \quad [12]$$

Il termine H_{sl} diventa efficace solamente quando si manifesta un reale e consistente abbassamento generalizzato del fondo. cioè quando:

$$\left(\frac{y_r \cdot V_{0'}}{\left(\sqrt{g} \cdot \frac{A}{B} \cdot K_H \right)} \right) - Y_0 > 0 . \quad [13]$$

Il termine d_{so} è dato dalla seguente espressione:

$$d_{so} = 0.8 \cdot \sqrt{(V_{0'} \cdot b)} . \quad [14]$$

nella quale:

b= dimensione trasversale caratteristica della pila. data dall'espressione:

$$b = b' \cdot f_3 ; \quad [15]$$

b'= larghezza della pila;

l= lunghezza della pila;

α = angolo di attacco della corrente;

f3= parametro di forma della pila:

$$f_3 = f(l/b \cdot \alpha) . \quad [16]$$

Il parametro f3 è dato da un diagramma riportato in bibliografia da diversi Autori: per angolo di attacco della corrente nullo ($\alpha=0$) il parametro f3 vale 1.

Nell'applicazione sistematica della formula. al fine di assumere condizioni cautelative di verifica. si è considerato sempre un valore di y_r pari ad Y_0 . considerando totalmente l'effetto della piena di riferimento.

Formula di Yaroslavtziev

Yaroslavtziev. elaborando numerosi dati di scalzamento raccolti nell'ex Unione Sovietica. è pervenuto ad una formula avente la seguente espressione:

$$S = K_v \cdot K_f \cdot (e + K_h) \cdot \frac{V_0^2}{g} - 30 \cdot D85 \quad [17]$$

nella quale:

S= profondità di scalzamento a partire dal fondo alveo medio locale;

K_v = funzione del rapporto tra il termine cinetico della corrente e la larghezza efficace della pila:

$$K_v = f\left(\frac{V_0^2}{g \cdot bl}\right); \quad [18]$$

K_h = funzione del rapporto tra l'altezza media della corrente e la larghezza efficace della pila:

$$K_h = f\left(\frac{Y_0}{bl}\right); \quad [19]$$

K_f = funzione del rapporto di forma della pila (lunghezza divisa per la larghezza) e dell'angolo di attacco della corrente:

$$K_f = f\left(\frac{l}{b}, \alpha\right) \quad [20]$$

v_0 = velocità della corrente di piena;

Y_0 = altezza d'acqua della corrente di piena sul fondo naturale di riferimento;

b = larghezza della pila;

l = lunghezza della pila;

α = angolo di attacco della corrente;

bl = larghezza efficace della pila:

$$bl = (l-b) \sin \alpha + b \quad [21]$$

e = parametro che assume valore 1.0 per pile in alveo e 0.6 per pile in golena;

D85= dimensione caratteristica del materiale di fondo.

Per l'applicazione sistematica della formula è stato necessario interpolare linearmente, mediante procedura automatica di calcolo, tra i valori della tabella di Yaroslavtziev che rappresentano l'espressione di K_f [20], e monomizzare le espressioni di K_v [18] e di K_h [19] a partire dai grafici riportati nella pubblicazione originale dell'autore³.

L'espressione [18] è riportata in un diagramma con asse delle ordinate logaritmico ed asse delle ascisse parabolico del terzo ordine; la forma monomia risulta la seguente:

$$K_v = 10^{\left[-0.283 \left(\frac{V_0^2}{g \cdot bl}\right)^{1/3} + 0.024\right]} \quad [22]$$

L'espressione [19] è riportata in un diagramma semilogaritmico sull'asse delle ordinate; la forma monomia risulta la seguente:

$$K_h = 10^{\left[-0.281 \left(\frac{Y_0}{bl}\right) + 0.096\right]} \quad [23]$$

³ da MAGINI, R. & REMEDIA, G. "Fondazioni in alvei mobili. Scalzamento localizzato per sistemi di pile e tecniche di fondazione", XX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Padova, 1986.

L'applicazione del metodo di calcolo è stato effettuato sia in riferimento alla forma completa dell'espressione [17], sia tralasciando da tale espressione il secondo termine, dipendente dal diametro caratteristico del materiale, che determina una consistente riduzione della quota di scavo; in via cautelativa si è poi dichiarato il valore di scalzamento più elevato ottenuto dall'applicazione di entrambe le espressioni.

19.7.3 Schematizzazione geometrica

Il tratto di corso d'acqua che si sviluppa a cavallo dei due viadotti A7 (di cui quello di valle sarà interessato da interventi di ampliamento) è regimato da opere di controllo del trasporto solido; in particolare, come già detto in precedenza, il fondo del torrente Secca è regolato altimetricamente da 3 briglie.

Nel calcolo dello scalzamento al piede delle fondazioni, a titolo cautelativo, non si è però fatto affidamento sulla tenuta strutturale delle 3 opere idrauliche succitate; pertanto il calcolo del valore di scavo attorno alla fondazione (pila-plinto) generato dal passaggio della piena duecentennale è avvenuto come se non esistesse alcuna opera di difesa trasversale.

Il calcolo dello scalzamento al piede è stato eseguito per tutte le pile dei 2 viadotti A7 (esistente ed in ampliamento) che ricadono nell'alveo di piena del Secca.

L'applicazione delle tre formule sopra descritte ha richiesto l'introduzione di una serie di parametri geometrici ed idraulici rispettivamente relativi alla conformazione delle pile e alle condizioni di deflusso idrico nella sezione d'alveo in corrispondenza di ciascuna opera di attraversamento.

19.7.4 Dati di input relativi al viadotto esistente A7 di monte

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche delle pile (di estensione longitudinale variabile) sono state utilizzate le seguenti dimensioni:

- pile singole circolari di diametro pari a 3.40 m;
- plinto a fronti arrotondate con ingombro in pianta $b \times l = 9.70 \times 6.80$ m
- interasse pile pari a 41.5 m.

Per le grandezze idrauliche caratterizzanti il deflusso nella sezione d'alveo in corrispondenza del viadotto sono stati assunti i valori risultanti dalla verifica idraulica nello stato di progetto.

Con riferimento alla simulazione succitata sono stati utilizzati i seguenti valori:

- portata di riferimento: 770 m³/s;
- livello idrico : 59.99 m s.m.;
- altezza d'acqua 3.31 m;
- velocità media della corrente: 2.90 m/s;
- area bagnata della sezione: 264.95 m²;
- larghezza pelo libero: 78.45 m.

Infine, per quanto riguarda la granulometria del materiale di fondo alveo, si è utilizzato un diametro medio pari a 0.05 m.

19.7.5 Analisi dei risultati relativi al viadotto esistente A7 di monte

Il calcolo dello scalzamento al piede è stato eseguito a partire da una quota di fondo alveo medio teorico corrispondente a 56.68 m s.m.; il valore di scavo più probabile per erosione, da adottare per il dimensionamento delle opere di difesa delle fondazioni esistenti, è quello risultante dalla media dei valori ottenuti considerando separatamente l'effetto delle pile e quello dei plinti.

I risultati dello scalzamento al piede considerando la geometria delle sole pile sono i seguenti:

- Breusers $d_s = 5.10$ m;
- Holmes $d_s = 2.74$ m;
- Yaroslavtziev $d_s = 4.57$ m.

Lo scalzamento medio risulta pari a 4.14 m.

I risultati dello scalzamento al piede ottenuti considerando la geometria dei soli plinti sono i seguenti:

- Breusers $d_s = 14.59$ m;
- Holmes $d_s = 4.62$ m;
- Yaroslavtziev $d_s = 7.34$ m.

Lo scalzamento medio risulta pari a 8.85 m.

Lo scalzamento medio di progetto (che tiene conto dell'effetto combinato pila-plinto) da adottare nel dimensionamento delle opere di difesa delle fondazioni risulta pertanto pari a **6.5 m** che è stato arrotondato a **7.0 m**, per tenere conto del valore di scavo generato sull'attraversamento di valle in ampliamento (si vedano i paragrafi seguenti); in riferimento alla quota di fondo alveo medio teorico assunta pari a 56.68 m s.m. la quota massima teorica di scalzamento da assumere nei calcoli di dimensionamento delle opere di difesa in progetto è pertanto di circa **49.70 m s.m.**

19.7.6 Dati di input relativi al viadotto A7 di valle oggetto di interventi di ampliamento

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche delle pile (di estensione longitudinale variabile) sono state utilizzate le seguenti dimensioni:

- pile singole con ingombro massimo in pianta: $b \times l = 5.0 \times 33.0$ m;
- plinto a fronti arrotondate con ingombro massimo in pianta $b \times l = 8.30 \times 38.0$ m
- interasse pile pari a 21.0 m.

Per le grandezze idrauliche caratterizzanti il deflusso nella sezione d'alveo in corrispondenza del viadotto sono stati assunti i valori risultanti dalla verifica idraulica nello stato di progetto.

Con riferimento alla simulazione succitata sono stati utilizzati i seguenti valori:

- portata di riferimento: 770 m³/s;
- livello idrico : 59.74 m s.m.;
- altezza d'acqua 3.65 m;
- velocità media della corrente: 2.70 m/s;
- area bagnata della sezione: 283.60 m²;
- larghezza pelo libero: 77.60 m.

Infine, per quanto riguarda la granulometria del materiale di fondo alveo, si è utilizzato un diametro medio pari a 0.05 m.

19.7.7 Analisi dei risultati relativi al viadotto A7 di valle oggetto di interventi di ampliamento

Il calcolo dello scalzamento al piede è stato eseguito a partire da una quota di fondo alveo medio teorico corrispondente a 56.09 m s.m.; il valore di scavo più probabile per erosione, da adottare per il dimensionamento delle fondazioni in progetto e per le opere di difesa delle fondazioni esistenti, è quello risultante dalla media dei valori ottenuti considerando separatamente l'effetto delle pile e quello dei plinti.

I risultati di scalzamento al piede considerando la geometria delle sole pile sono i seguenti:

- Breusers $d_s = 11.11$ m;
- Holmes $d_s = 3.23$ m;
- Yaroslavtziev $d_s = 3.25$ m.

Lo scalzamento medio risulta pari a circa 5.86 m.

I risultati di scalzamento al piede ottenuti considerando la geometria dei soli plinti sono i seguenti:

- Breusers $d_s = 16.00$ m;
- Holmes $d_s = 4.16$ m;
- Yaroslavtziev $d_s = 4.48$ m.

Lo scalzamento medio risulta pari a circa 8.21 m.

Lo scalzamento medio di progetto (che tiene conto dell'effetto combinato pila-plinto) da adottare nel dimensionamento delle fondazioni per la parte di viadotto in ampliamento e per le opere di difesa per la parte di viadotto esistente risulta pertanto pari a circa **7.0 m**; in riferimento alla quota di fondo alveo medio teorico assunta pari a 56.09 m s.m. la quota massima teorica di scalzamento da assumere nei calcoli di dimensionamento delle strutture in progetto è pertanto di **49.00 m s.m.**.

Il valore di scalzamento medio adottato risulta comunque cautelativo, in relazione allo specifico assetto idraulico del corso d'acqua nel tratto in esame; va specificato che anche nell'ipotesi di tenuta strutturale delle briglie esistenti (e quindi non prendendo in considerazione l'effetto del plinto) lo scalzamento si attesterebbe intorno ai 6.0 m di profondità.

19.8 Interventi di difesa delle fondazioni

Al fine di proteggere il fondo alveo dai fenomeni erosivi indotti in occasione di eventi di piena gravosi sulle fondazioni dei due viadotti A7 (esistente ed in ampliamento) localizzati tra le sezioni di rilievo 4 e 7, si è previsto il rivestimento del fondo in massi di cava sciolti. In particolare l'intervento si estende a partire da 45.0 m a monte del primo viadotto (a 9 campate con pile circolari) e termina in corrispondenza della briglia esistente localizzata a valle del secondo viadotto A7 oggetto di ampliamento secondo un'estensione di 140.0 m, spessore di 1.20 m e pendenza pari al 1.2%; la dimensione dei massi di cava non dovrà essere inferiore ad 1.0 m.

Di seguito si allegano la metodologia di calcolo impiegata ed i risultati ottenuti della verifica sulla stabilità del materiale di rivestimento di fondo alveo in progetto.

19.8.1 Calcolo delle condizioni critiche di moto incipiente

Differenti formule di calcolo sono disponibili in letteratura per la valutazione della stabilità di materiali di assegnata granulometria soggetti all'azione di trascinamento della corrente.

Questi procedimenti si basano sulla determinazione dei valori critici, in generale desunti da dati sperimentali, delle velocità o delle tensioni tangenziali, intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato, e sul confronto con i valori reali di tali grandezze.

Le formule che si basano sul concetto di velocità critica, sebbene molto usate in passato, presentano evidenti limiti di applicabilità: infatti, non essendo generalmente disponibili informazioni sulla distribuzione delle velocità nelle sezioni d'alveo, si utilizza nei calcoli il valore della velocità media per il confronto con il valore di velocità critica, che porta ad una sovrastima della velocità allo strato limite, specialmente per alvei che hanno elevata scabrezza e che quindi non presentano certo uno strato limite laminare.

Per questo motivo appare preferibile l'utilizzo di formule basate sul confronto delle tensioni di trascinamento.

Tale criterio si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale, secondo la formula:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i \quad (\text{kg/m}^2);$$

dove γ (kg/m^3) è il peso specifico dell'acqua, R (m) è il raggio idraulico della sezione e i (m/m) la pendenza di fondo.

La condizione di stabilità del fondo risulta verificata quando $\tau_{cr} \geq \tau_0$, ovvero quando la tensione tangenziale critica è maggiore o uguale a quella di moto incipiente esercitata dalla corrente.

La seguente analisi di stabilità è riferita alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields - 1936 - la cui formula base è stata ricavata da esperimenti su letti a granulometria uniforme di forte scabrezza), attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli, esprimibile in termini generali con la

seguinte relazione che esprime una condizione di equilibrio:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = \varnothing(Re^*)$$

con:

τ_{cr} = tensione tangenziale critica (kg/m²);

γ_s = peso specifico materiale d'alveo (kg/m³);

γ = peso specifico dell'acqua (kg/m³);

d = diametro del granulo (m);

\varnothing = parametro adimensionale dipendente dalle caratteristiche dei granuli e del letto fluviale e dal numero di Reynolds (Re^*) relativo alla velocità di attrito ($u^* = \sqrt{\tau_{cr}/\rho}$).

Per la traduzione della condizione di equilibrio suddetta in termini empirici e ingegneristici sono state proposte varie formulazioni, derivanti da osservazioni sperimentali, ciascuna caratterizzata da limiti e campi di applicabilità specifici che ne condizionano l'utilizzo alla preventiva definizione della tipologia dei substrati naturali o artificiali e del comportamento idraulico dell'alveo.

In particolare alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro di Shields:

$\varnothing = 0.047$ nella espressione di Meyer-Peter, che considera nullo il termine relativo al trasporto solido;

$\varnothing = 0.058 \div 0.060$ nella espressione originale di Shields per $Re^* > 400$;

$\varnothing = 0.116$ nella espressione di Kalinske, che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante l'effetto di mutuo incastro delle particelle.

Nel seguito sono riportate le principali formulazioni normalmente considerate, con riferimento ai rispettivi autori.

- Shields - Krey: la formula (1936) è stata sviluppata per moti in regime turbolento e per la condizione $d \ll h$, dove d è il diametro medio del materiale considerato e h è l'altezza d'acqua:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = 0,06;$$

- Zeller: la formula (1963) è relativa a miscugli omogenei in regime di moto assolutamente turbolento ed ottiene un valore limite di \varnothing inferiore a quello di Shields:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = 0,047;$$

- Armanini: la formula empirica (1990) è applicabile quando la dimensione del materiale è dello stesso ordine di grandezza del tirante idrico (si parla di sommergezza relativa bassa); l'autore ha osservato che in questo caso la mobilità dei grani si riduce sensibilmente:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = 0,06 \left[1 + 0,67 \left(\frac{d}{h} \right)^{0,5} \right] \quad (h = \text{profondità});$$

- Egiazaroff: la formula è applicabile a miscugli non omogenei nel campo di regime assolutamente turbolento (si nota che per $d = d_{50}$, dove d_{50} è la dimensione della maglia del setaccio che lascia passare il 50% in peso

del materiale che compone il miscuglio, il valore del primo termine dell'espressione eguaglia praticamente il coefficiente di Shields):

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = \frac{0,1}{[\log_{10}(19d/d_{50})]^2}$$

In base alle espressioni sopra riportate nel caso in oggetto la condizione di stabilità del materiale costituente il fondo naturale può essere verificata facendo riferimento in particolare alla formula di Shields nell'espressione di Kalinske.

19.8.2 Verifica di stabilità del materiale di rivestimento

Dal confronto fra le tensioni tangenziali esercitate dalla corrente sul fondo e la corrispondente tensione tangenziale critica, legata alla pezzatura del materiale utilizzato per il rivestimento, è possibile verificarne la stabilità in alveo identificando le dimensioni dei massi impiegati attraverso il diametro medio di calcolo D_{50} .

Volendo esprimere l'ordine di grandezza dei massi tramite il loro peso, si consideri che, in generale, il volume di elementi di forma abbastanza regolare è compreso tra quello di un cubo di lato pari alla dimensione caratteristica calcolata D_{50} e quello di una sfera di tale diametro.

Il rapporto tra questi due volumi è 0.52, mentre il volume del masso caratteristico sarà circa pari a 0.8 volte il volume del cubo.

Quindi, per calcolare il volume del masso caratteristico si può utilizzare la seguente semplice formula:

$$V = 0.80 \cdot (D_{50})^3$$

Il volume per il peso specifico del materiale utilizzato fornisce il peso corrispondente del materiale impiegato.

La verifica è stata condotta utilizzando i seguenti dati di riferimento, relativi alla piena duecentennale:

- R = raggio idraulico⁴: 4.0 m
- i = pendenza di fondo: 0.012 m/m
- γ = peso specifico dell'acqua: 1000 kg/m³
- γ_s = peso specifico del materiale d'alveo: 2400 kg/m³
- h = altezza media dell'acqua: 4.0 m

La pendenza di fondo ed il tirante idrico assunti nei calcoli sono quelli relativi al tratto d'alveo interessato dall'intervento.

Dalla applicazione delle espressioni precedenti risulta un valore di τ_0 (tensione sul fondo) pari a 48.0 kg/m².

Assumendo un diametro di calcolo $d_{50} = 1.00$ m si ottiene il seguente valore di tensione tangenziale critica:

$$\tau_{0CR} = 162.40 \text{ kg/m}^2 (> 48.0 \text{ kg/m}^2) \text{ sul fondo.}$$

⁴ Per alvei rettangolari larghi il raggio idraulico è assunto pari alla profondità d'acqua generata dalla portata di piena.

Considerando per il fondo un valore di d_{50} pari a 1.0 m si ottiene un volume medio del masso caratteristico pari a $0.8 \times 1.0^3 = 0.80 \text{ m}^3$; assumendo un γ pari a 2400 kg/m^3 si determina per il materiale di rivestimento un peso medio di riferimento compreso tra 1800 e 2000 kg (valore risultante dal calcolo=1920 kg).

20. INTERCONNESSIONE VESIMA

20.1.1 Analisi idrologica

Il bacini imbriferi dei rii interferenti con l'interconnessione Vesima (Figura 35) hanno le seguenti superfici:

OPERA142B: $S = 0.041 \text{ km}^2$ (reticolo minuto);
OPERA144B: $S = 0.015 \text{ km}^2$ (reticolo minuto).

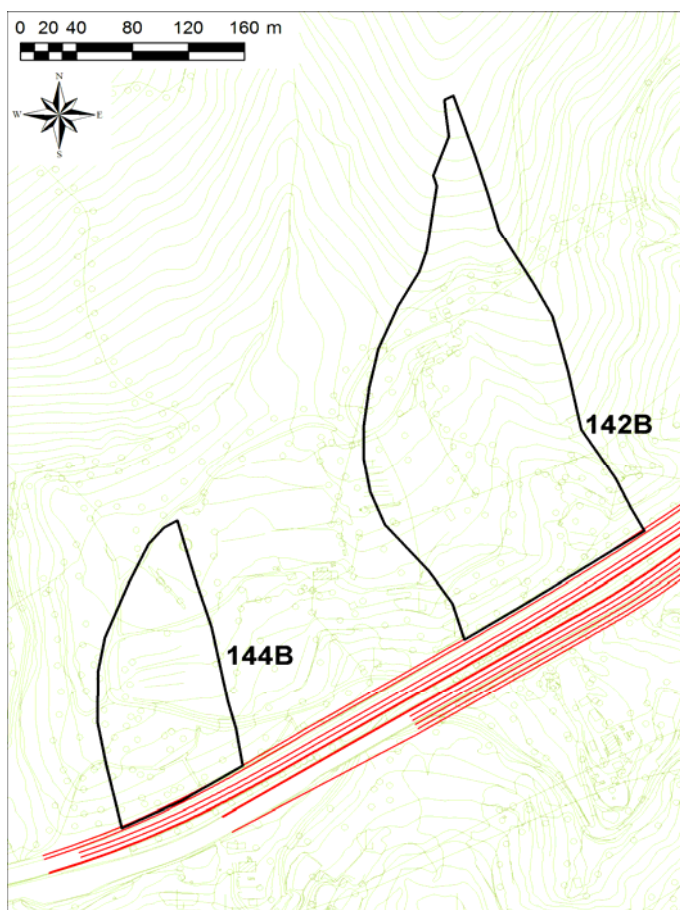


Figura 35 - Bacini imbriferi dei rii interferenti con l'interconnessione Vesima (su opere esistenti 142B e144B).

Le opere in progetto sono realizzate come prolungamento a monte ed a valle di quelle esistenti; la loro denominazione segue la numerazione desunta dagli elenchi di contabilità in possesso della Società Autostrade per l'Italia S.p.A.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottengono le seguenti portate di piena di progetto:

OPERA142B:	$Q_{\text{progetto}} = 1.64 \text{ m}^3/\text{s};$
OPERA144B:	$Q_{\text{progetto}} = 0.60 \text{ m}^3/\text{s}.$

20.1.2 Analisi idraulica dell'opera OPERA142B

Essa costituisce il prolungamento verso monte e verso valle di quella esistente; l'opera è quindi caratterizzata dalla stessa pendenza di fondo (2%) e geometria di quella esistente (tombino circolare di diametro 1.20 m). Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

• dimensioni	D=1.2 m
• pendenza min.	0.02 m/m
• materiale	cls
• scabrezza	$45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
• portata progetto	$1.64 \text{ m}^3/\text{s}$
• altezza critica	0.76 m
• altezza moto uniforme	0.62 m
• franco sicurezza	0.58 m

20.1.3 Analisi idraulica dell'opera OPERA144B

Tale opera costituisce il prolungamento verso monte e verso valle di quella esistente; l'opera è caratterizzata dalla stessa pendenza di fondo (2%) e geometria di quella esistente, costituita da un tombino circolare di diametro 1.00 m. Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

• dimensioni	D=1.0 m
• pendenza min.	0.02 m/m
• materiale	cls
• scabrezza	$45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
• portata progetto	$0.60 \text{ m}^3/\text{s}$
• altezza critica	0.53 m
• altezza moto uniforme	0.40 m
• franco sicurezza	0.60 m

21. INTERFERENZA VIABILITÀ IN 02- ZONA TORBELLA

21.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio affluente "Est" in sinistra del torrente Torbella (vedi Figura 36) ha una superficie $S = 0,047 \text{ km}^2$ e secondo la gerarchizzazione idrografica prevista dal Regolamento Regionale N.3 appartiene al reticolo minuto.

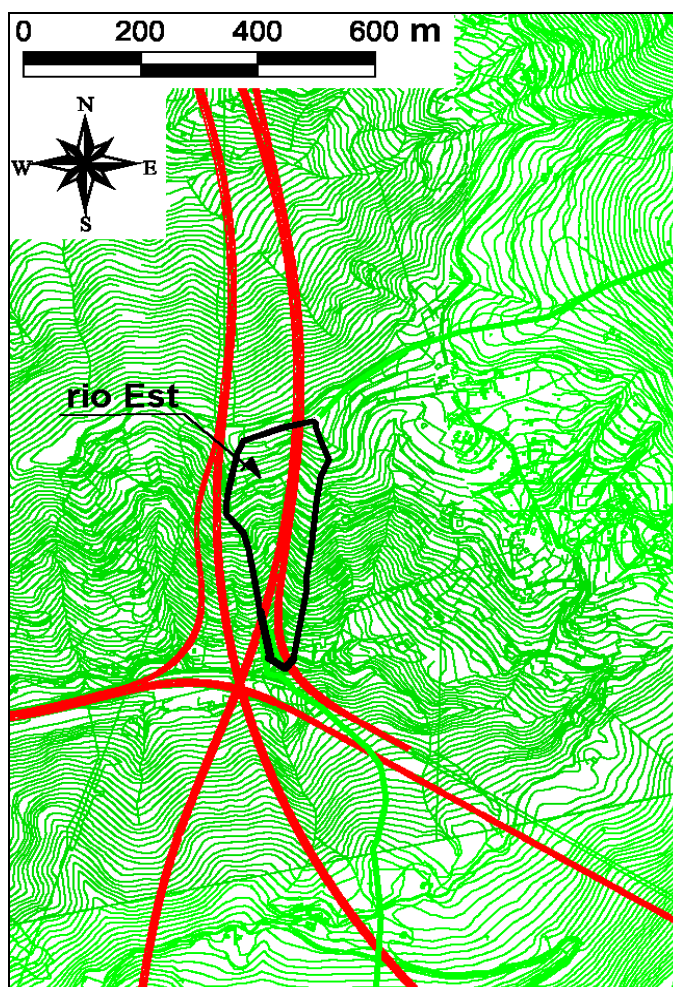


Figura 36 - Bacino imbrifero del rio affluente del Torbella interferente con la viabilità IN02.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la seguente portata di piena di progetto:

$$\text{Rio affluente "Est": } Q_{\text{progetto}} = 1.9 \text{ m}^3/\text{s}.$$

21.2 Analisi idraulica

La sistemazione del rio affluente del torrente Torbella avviene tramite un intervento di tombinatura, realizzando un manufatto scatolare di dimensioni BxH=1.5x2.0 m, estensione pari a 12.8 m e pendenza di fondo del 2%..

Data la sua limitata estensione e le ridotte dimensioni dell'alveo inciso (non è individuabile una sezione geometrica definibile e quindi può considerarsi una semplice incisione) si è eseguita una verifica in moto uniforme.

- dimensioni BxH=1.5x2.0 m
- pendenza min. 0.02 m/m
- materiale cls
- scabrezza $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto $1.90 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0.60 m
- altezza moto uniforme 0.46 m
- franco sicurezza 1.54 m

Il manufatto di attraversamento ha un franco superiore a 0.5 m ed è quindi adeguato idraulicamente.

22. INTERFERENZA VIABILITÀ DI SERVIZIO DEFINITIVE

22.1 Viabilità VS1

22.1.1 Analisi idrologica

Il bacini imbriferi dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS1 (vedi Figura 37 e Figura 38) hanno le seguenti superfici:

VS1-T1:	S = 0.048 km ² (reticolo minuto);
VS1-T2:	S = 0.042 km ² (reticolo minuto);
VS1-T3:	S = 1.159 km ² (reticolo 1° livello);
VS1-T4:	S = 0.005 km ² (reticolo minuto);
VS1-T5:	S = 0.038 km ² (reticolo minuto);
VS1-T6:	S = 0.005 km ² (reticolo minuto).

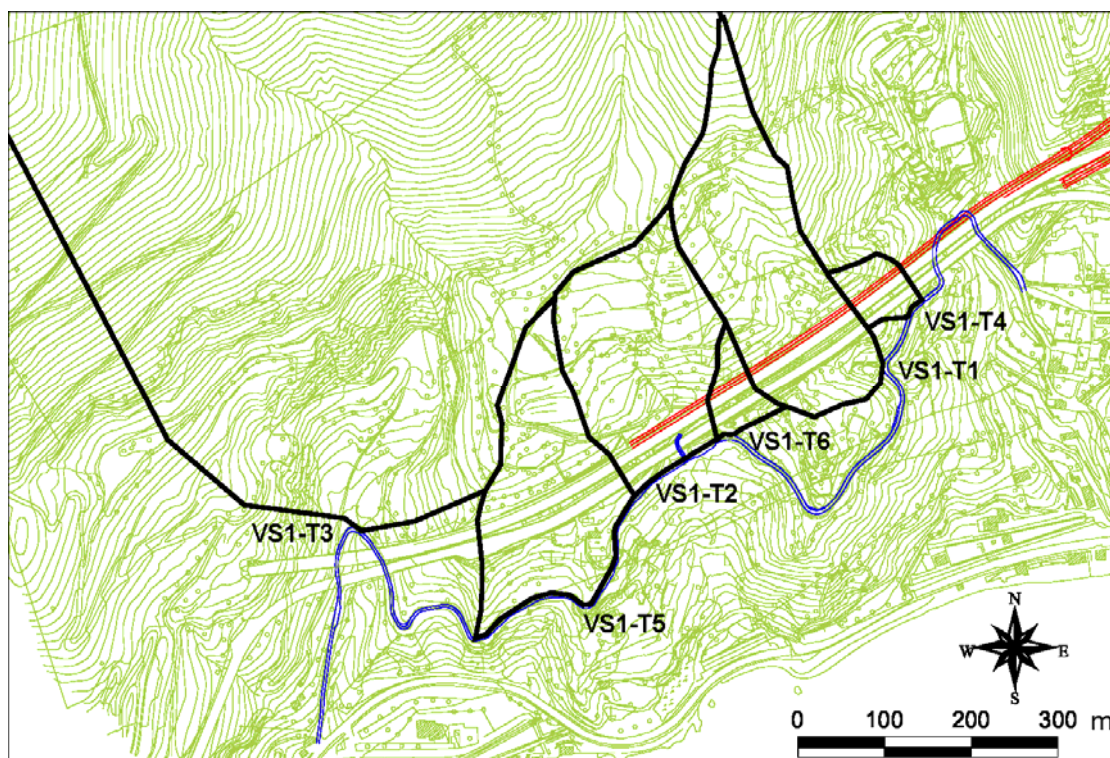


Figura 37 – Bacini imbriferi dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS1.

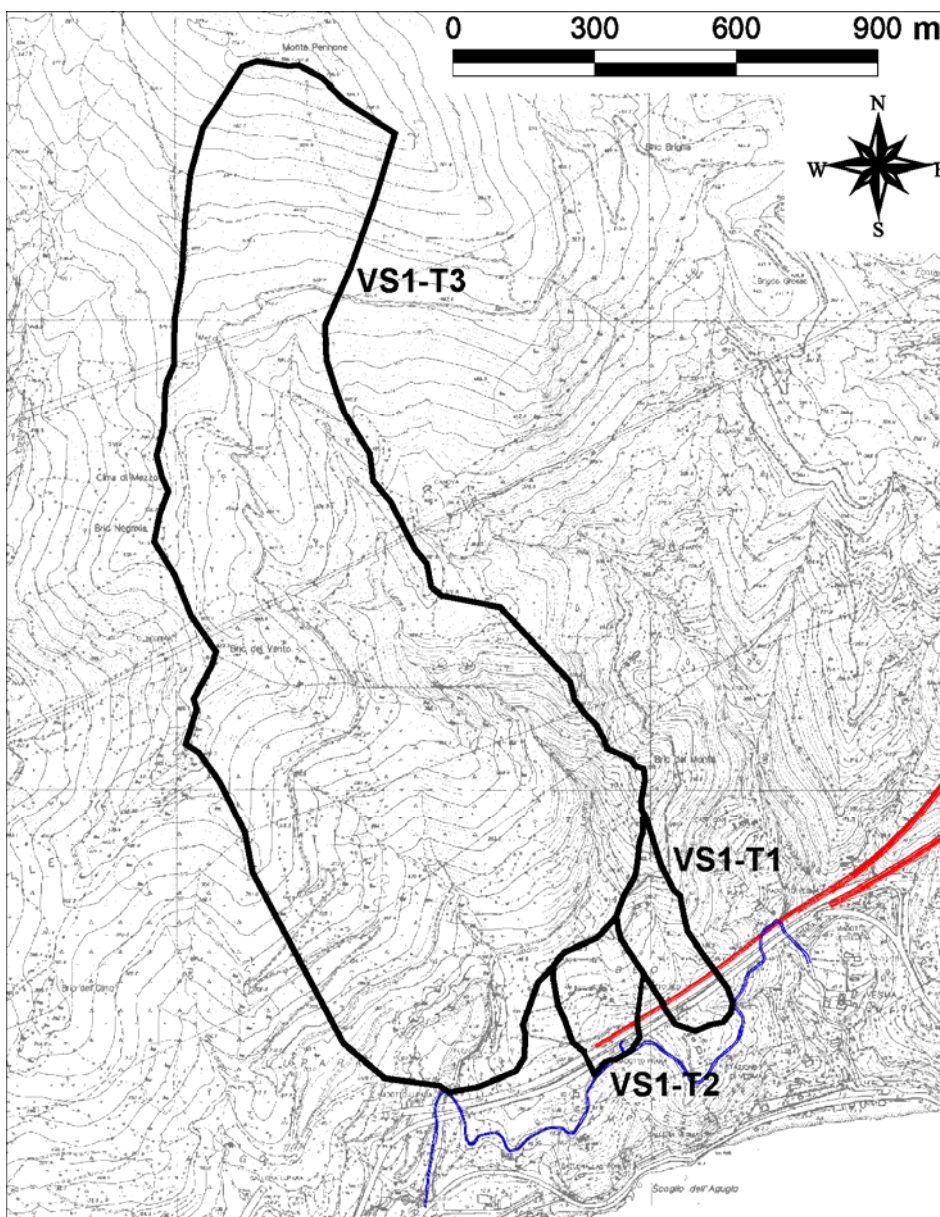


Figura 38 – Corografia complessiva dei bacini imbriferi dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS1.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottengono le seguenti portate di piena di progetto:

VS1-T1:	$Q_{\text{progetto}} = 2.0 \text{ m}^3/\text{s};$
VS1-T2:	$Q_{\text{progetto}} = 1.7 \text{ m}^3/\text{s};$
VS1-T3:	$Q_{\text{progetto}} = 46.4 \text{ m}^3/\text{s};$
VS1-T4:	$Q_{\text{progetto}} = 0.2 \text{ m}^3/\text{s};$
VS1-T5:	$Q_{\text{progetto}} = 1.5 \text{ m}^3/\text{s};$
VS1-T6:	$Q_{\text{progetto}} = 0.2 \text{ m}^3/\text{s}.$

22.1.2 Analisi idraulica dell'opera VS1-T1

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni BxH=1.5X2.0 m
- pendenza min. 0.01 m/m
- materiale cls
- scabrezza $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0.55 m
- altezza moto uniforme 0.62 m
- franco sicurezza 1.38 m

22.1.3 Analisi idraulica dell'opera VS1-T2

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni BxH=1.5x2.0 m
- pendenza min. 0.10 m/m
- materiale cls
- scabrezza $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0.74 m
- altezza moto uniforme 0.25 m
- franco sicurezza 1.75 m

22.1.4 Analisi idraulica dell'opera VS1-T3

La geometria del rio è stata descritta sulla base del rilievo celerimetrico (piano quotato) eseguito per il presente progetto.

È stata eseguita una modellizzazione idraulica poiché il rio attraversato dalla viabilità di servizio denominata VS1-T3. appartiene al reticolo di 1° livello; l'obiettivo della verifica idraulica è stato quello di definire la larghezza minima delle spalle dell'attraversamento e la sua quota minima d'intradosso in modo che il manufatto non interferisca in alcun modo con il deflusso di piena Tr200 anni.

Il modello idraulico è composto da 6 sezioni trasversali che sono state individuate a cavallo dell'attraversamento per un'estensione di circa 38.0 m; in particolare la sezione all'estremità di monte dista 15.0 m dal filo impalcato di monte dell'attraversamento e quella all'estremità di valle 14.0 m dal filo impalcato di valle.

Di seguito (Tabella 40) si riporta il profilo longitudinale del corso d'acqua nello stato di progetto che è equivalente in termini di risultati allo stato attuale, in quanto il ponte in progetto ha le spalle non interferenti con la corrente di piena.

Note (-)	Sezione modello (-)	Progressive (m)	Quota fondo alveo (m s.m.)
	1	0.00	51.11
	2	10.00	46.32
monte attraversamento	3	15.00	43.89
valle attraversamento	4	24.00	42.00
	5	31.00	40.00
	6	38.00	36.67

Tabella 40 - Profilo longitudinale del rio nello stato di progetto.

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- portata di piena di progetto di valore al colmo costante pari a $46.4 \text{ m}^3/\text{s}$ e altezza critica imposte in entrata nel modello (sez.1) alla progressiva 0.00 m;
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione valle (sez.6) a progressiva 38.00 m.

Per il tratto naturale si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.033 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

L'attraversamento in progetto interferisce con un corso d'acqua di 1° livello ed ha estensione inferiore di 12.0 m; assumendo un franco minimo di 1.5 m sul livello bicentenario a monte dell'attraversamento (sezione 3 con quota idrometrica pari a 45.70 m s.m.) si ha che il manufatto deve avere un intradosso minimo non inferiore alla quota 47.20 m s.m. e la luce netta (in retto) tra le spalle dell'attraversamento deve essere superiore a 6.0 m. in modo che le stesse spalle non interferiscano con il deflusso di piena.

Di seguito (Tabella 41 e Figura 40) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Note (-)	Sezione modello (-)	Progr. (m)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)
	1	0.00	46.40	51.11	52.43	52.43	52.90	0.011	3.07	15.70	16.93	0.98
	2	10.00	46.40	46.32	47.37	48.35	52.18	0.186	9.71	4.78	7.02	3.76
monte attraversamento	3	15.00	46.40	43.89	45.70	46.86	51.18	0.184	10.38	4.47	4.92	3.47
valle attraversamento	4	24.00	46.40	42.00	43.16	44.32	49.30	0.224	10.97	4.23	5.38	3.95
	5	31.00	46.40	40.00	40.93	41.89	47.35	0.344	11.23	4.13	7.70	4.89
	6	38.00	46.40	36.67	37.61	38.71	44.89	0.335	11.95	3.88	6.53	4.95

Tabella 41 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del rio nello stato di progetto.

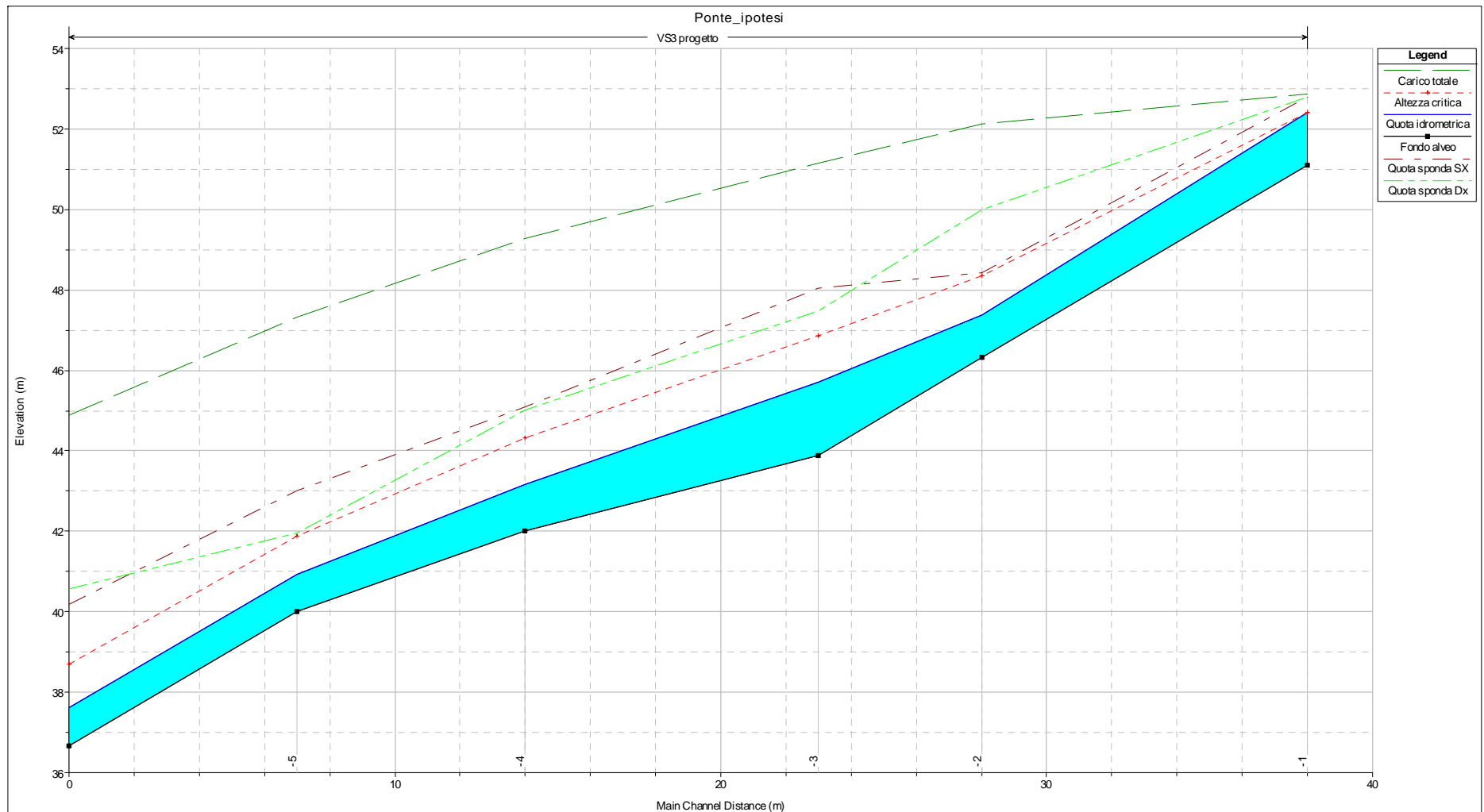


Figura 39 – Profilo idrometrico con tempo di ritorno 200 anni per il rio nello stato di progetto.

22.1.5 Analisi idraulica dell'opera VS1-T4

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni BxH=1.5X2.0 m
- pendenza min. 0.01 m/m
- materiale cls
- scabrezza $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0.12 m
- altezza moto uniforme 0.13 m
- franco sicurezza 1.87 m

22.1.6 Analisi idraulica dell'opera VS1-T5

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni BxH=1.5X2.0 m
- pendenza min. 0.01 m/m
- materiale cls
- scabrezza $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0.46 m
- altezza moto uniforme 0.50 m
- franco sicurezza 1.5 m

22.1.7 Analisi idraulica dell'opera VS1-T6

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni BxH=1.5X2.0 m
- pendenza min. 0.01 m/m
- materiale cls
- scabrezza $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0.12 m
- altezza moto uniforme 0.13 m
- franco sicurezza 1.87 m

22.2 Viabilità VS3

22.2.1 Analisi idrologica

Il bacini imbriferi dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS3 (vedi Figura 40) hanno le seguenti superfici (opere definitive):

VS3-A1:	S = 0.065 km ² (reticolo minuto);
VS3-A2:	S = 0.019 km ² (reticolo minuto).

Considerando un contributo specifico di 40 m³/s km² si ottengono le seguenti portate di piena di progetto:

VS3-A1:	Q _{progetto} = 2.6 m ³ /s;
VS3-A2:	Q _{progetto} = 0.8 m ³ /s.

Per le interferenze con la viabilità provvisoria (VS3-B1 e VS3-B2) si rimanda all'elaborato IDR 0002.

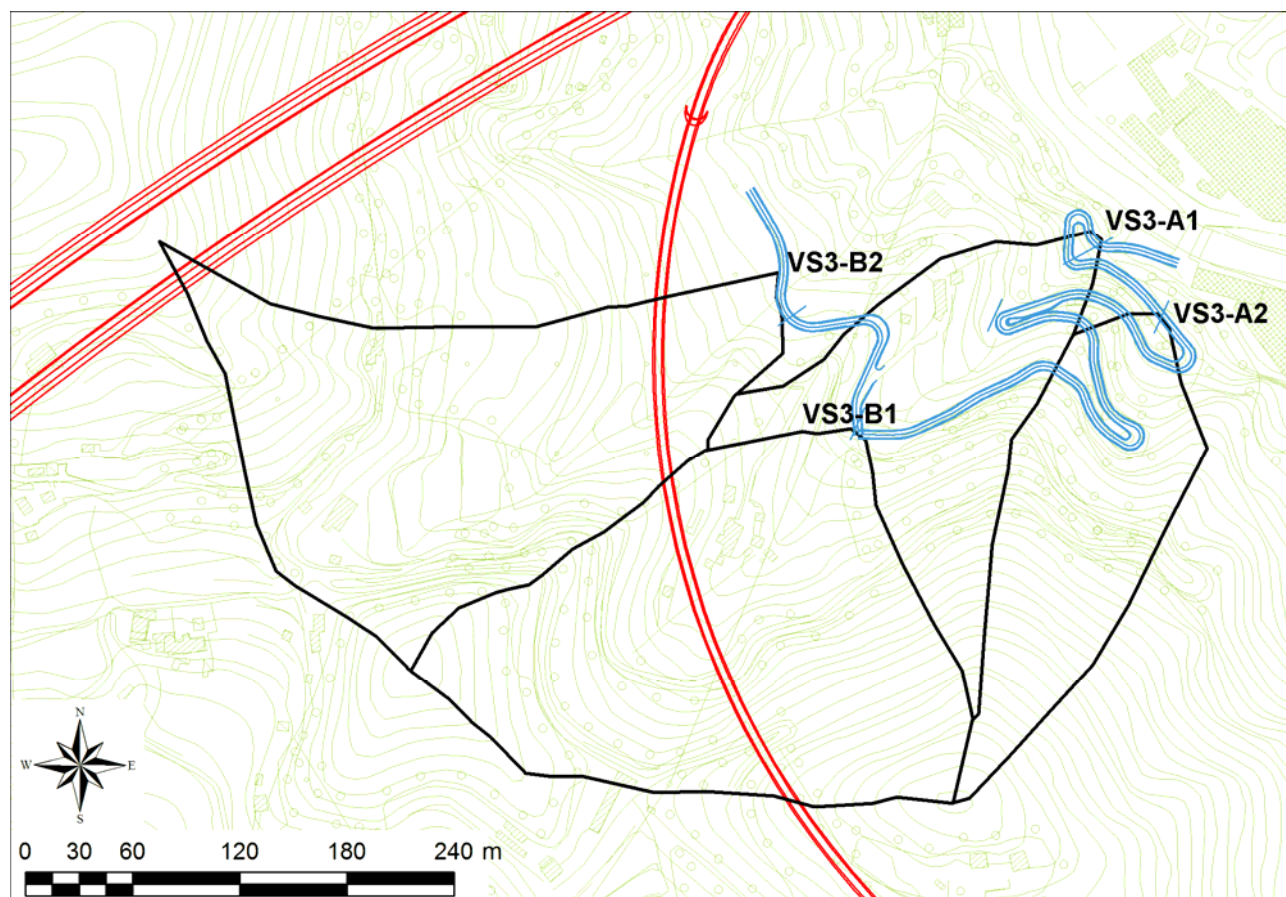


Figura 40 – Bacini imbriferi dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS3.

22.2.2 Analisi idraulica dell'opera VS3-A1

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni BxH=1.5X2.0 m
- pendenza min. 0.01 m/m
- materiale cls
- scabrezza $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto $2.6 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0.65 m
- altezza moto uniforme 0.75 m
- franco sicurezza 1.25 m

22.2.3 Analisi idraulica dell'opera VS3-A2

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni BxH=1.5x2.0 m
- pendenza min. 0.01 m/m
- materiale cls
- scabrezza $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0.30 m
- altezza moto uniforme 0.32 m
- franco sicurezza 1.68 m

22.3 Viabilità VS4

22.3.1 Analisi idrologica

Il bacini imbriferi dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS4 (vedi Figura 41) hanno le seguenti superfici:

$$\text{VS4-C1 e VS4-C2: } S = 0.014 \text{ km}^2 \text{ (reticolo minuto).}$$

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottengono le seguenti portate di piena di progetto:

$$\text{VS4-C1 e VS4-C2: } Q_{\text{progetto}} = 0.6 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Per l'interferenza con la viabilità VS4-A1 si rimanda alla sistemazione idraulica relativa all'interferenza con l'imbocco della galleria Voltri lato Savona.

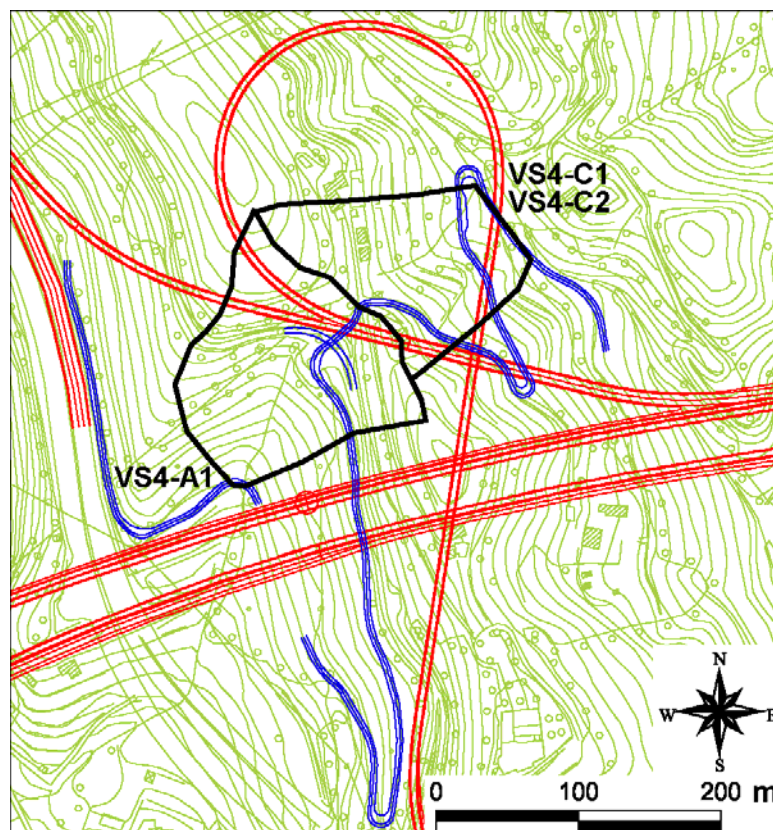


Figura 41 – Bacini imbriferi dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS4.

22.3.2 Analisi idraulica dell'opera VS4-C1

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni BxH=1.5x2.0 m
- pendenza min. 0.01 m/m
- materiale cls
- scabrezza $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0.25 m
- altezza moto uniforme 0.27 m
- franco sicurezza 1.73 m

22.3.3 Analisi idraulica dell'opera VS4-C2

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni BxH=1.5x2.0 m
- pendenza min. 0.01 m/m
- materiale cls
- scabrezza $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0.25 m
- altezza moto uniforme 0.27 m
- franco sicurezza 1.73 m

22.4 Viabilità VS8

22.4.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con la viabilità di servizio VS8 (vedi Figura 42), ha una superficie $S = 0.056 \text{ km}^2$ (reticolo minuto).

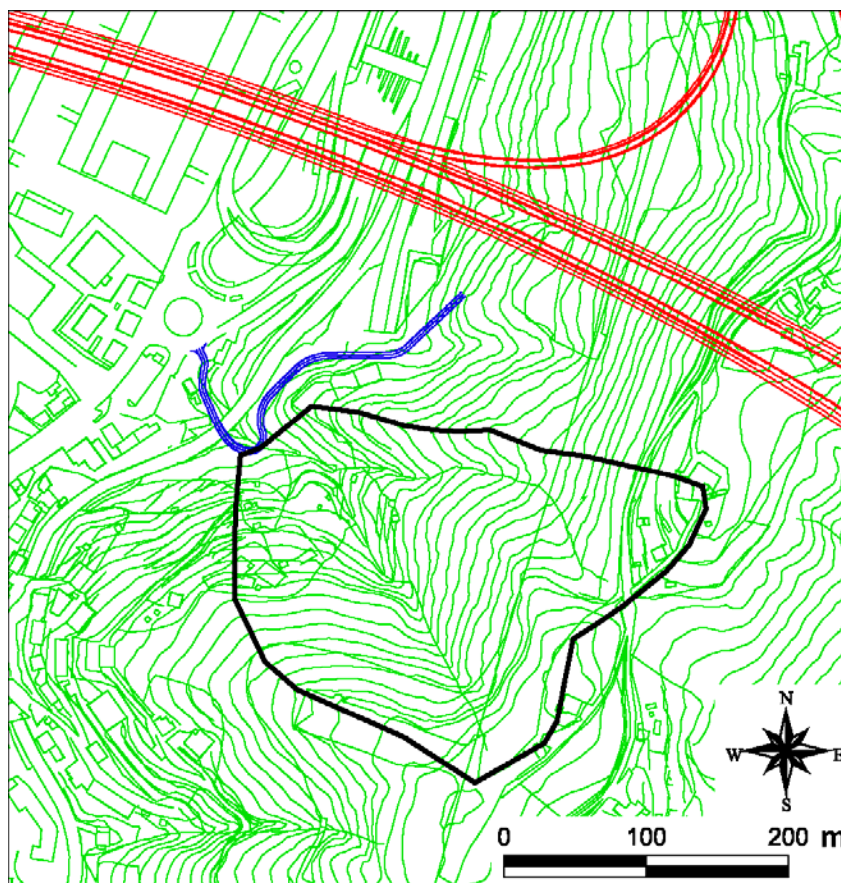


Figura 42 – Bacino imbrifero del rio interferente con la viabilità di servizio VS8.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di progetto:

$$Q_{\text{progetto}} = 2.3 \text{ m}^3/\text{s}.$$

22.4.2 Analisi idraulica dell'opera VS8

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni $B \times H = 1.5 \times 2.0 \text{ m}$
- pendenza min. 0.01 m/m
- materiale cls
- scabrezza $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0.60 m
- altezza moto uniforme 0.68 m
- franco sicurezza 1.32 m

ALLEGATO 1

Descrizione del codice di calcolo HEC-RAS

Il codice di calcolo HEC-RAS dell' U.S. Army Corps of Engineers consente di determinare il profilo idraulico, lungo un determinato tratto fluviale o canale artificiale, in condizioni di moto stazionario e vario.

Possono essere analizzate condizioni di moto in corrente lenta, condizioni di moto critiche e condizioni di regime misto.

Il codice di calcolo permette di descrivere in maniera dettagliata la geometria delle singole sezioni idrauliche, tenendo conto di scabrezze differenti non solo in diversi tratti del corso d'acqua, ma anche all'interno della stessa sezione, ad esempio per differenziare le zone golenali e il canale principale. Esso consente inoltre di modellizzare l'andamento meandriforme di un corso d'acqua, sia in ambito monodimensionale che quasi-2D, indicando differenti lunghezze del tratto che separa due sezioni adiacenti per la golenale in sponda sinistra, la golenale in sponda destra ed il canale principale.

Le ipotesi di base che caratterizzano il codice di calcolo sono:

- il moto della corrente è permanente e gradualmente variato;
- il deflusso della corrente è monodimensionale: le componenti della velocità nelle direzioni diverse da quella principale della corrente non vengono considerate; le equazioni utilizzate assumono che il carico totale è lo stesso per tutti i punti appartenenti ad una generica sezione;
- la pendenza del fondo alveo è limitata (inferiore a 1:10);
- la cadente è assunta costante tra due sezioni adiacenti;
- la geometria delle sezioni idrauliche è fissa.

Il programma di calcolo opera integrando le equazioni generali del moto secondo il metodo denominato nella letteratura anglosassone "Standard Step Method". Il processo di calcolo si sviluppa a seconda delle caratteristiche della corrente, lenta o veloce, dalla sezione estrema di valle o dalla sezione estrema di monte, dove vengono assegnate dall'utente le condizioni al contorno, e procede verso l'altro estremo.

In corrispondenza dei ponti o di eventuali canali a sezione chiusa, dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi, vengono utilizzati metodi di calcolo specifici.

L'equazione differenziale fondamentale del moto permanente, viene risolta nella seguente forma:

$$H_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = H_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \Delta E \quad (1)$$

dove (si veda la figura 1):

- H_1, H_2 : quote assolute della superficie della corrente alle sezioni 1 e 2;
- v_1, v_2 : velocità medie della corrente (portata totale/area totale bagnata);
- α_1, α_2 : coefficienti di ragguglio della potenza cinetica (coefficienti di Coriolis);
- ΔE : perdita di carico tra le sezioni 2 e 1.

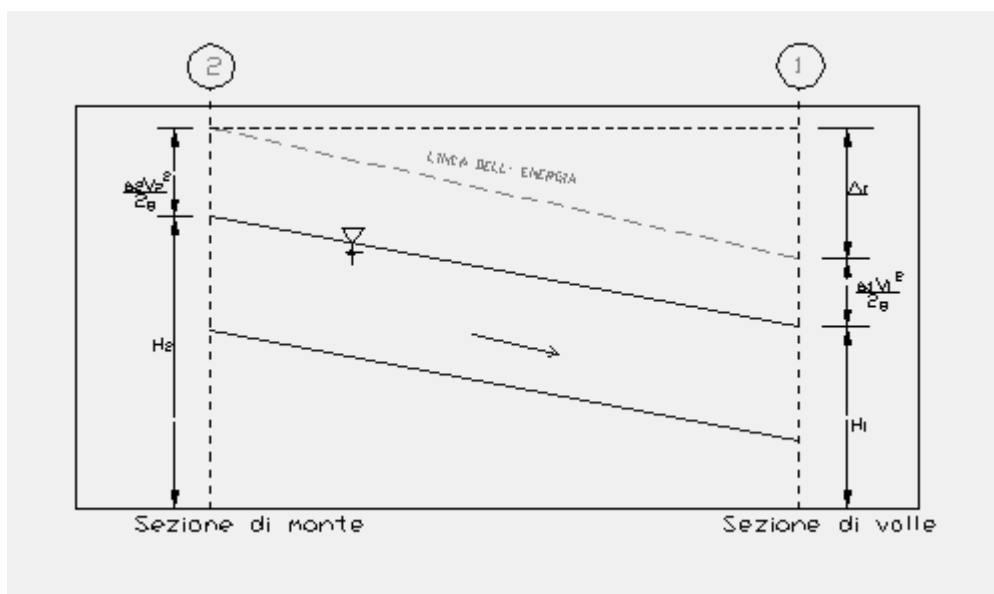


Figura 1: Grandezze presenti nell'equazione dell'energia.

La perdita di carico tra due sezioni è data dalla somma delle perdite distribuite lungo il tratto d'alveo compreso tra le due sezioni e le eventuali perdite dovute alla contrazione o alla espansione della corrente. L'espressione che permette il calcolo della perdita di carico risulta:

$$\Delta E = L \cdot J + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove:

- L : lunghezza del tratto d'alveo in esame;
- J : cadente piezometrica;
- C : coefficiente che tiene conto dei fenomeni di contrazione ed espansione della corrente.

La distanza L tra due successive sezioni viene valutata con la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{gs} Q_{qs} + L_c Q_c + L_{gd} Q_{qd}}{Q_{qs} + Q_c + Q_{qd}} \quad (3)$$

dove:

- \$L_{gs}\$, \$L_{gd}\$, \$L_c\$: distanza percorsa dalla corrente rispettivamente in golena sinistra, destra e nel canale principale;
- \$Q_{gs}\$, \$Q_{gd}\$, \$Q_c\$: portate rispettivamente defluite alla sezione terminale in golena sinistra, destra e nel canale principale.

La cadente piezometrica può essere ricavata attraverso la seguente espressione:

$$J = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{k_1 + k_2} \right)^2 \quad (4)$$

essendo:

- Q_1, Q_2 : portata transitata rispettivamente alla sezione 1 e alla sezione 2;
- k_1, k_2 : capacità di deflusso (conveyance) totale rispettivamente associata alla sezione 1 e alla sezione 2.

La capacità di deflusso è calcolabile attraverso la seguente espressione:

$$k = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (5)$$

essendo:

- n : coefficiente di Manning;
- A : area bagnata;
- R : raggio idraulico.

La capacità di deflusso complessiva di una determinata sezione è data dalla somma delle capacità di deflusso delle due golene e del canale principale. Ciascuna parte con cui si è idealmente suddivisa la sezione idraulica è infatti caratterizzata, una volta noto o ipotizzato il tirante idrico, da una determinata area bagnata e raggio idraulico; da qui la possibilità di applicare la (5) per calcolare la capacità di deflusso per la golena in sponda destra, sinistra e per il canale principale.

Il coefficiente di ragguglio della potenza cinetica (coefficiente di Coriolis) viene calcolato attraverso la seguente espressione:

$$\alpha = \left(\frac{k_{gs}^3}{A_{gs}^2} + \frac{k_c^3}{A_c^2} + \frac{k_{gd}^3}{A_{gd}^2} \right) \frac{A_t^2}{k_t^3} \quad (6)$$

dove:

- A_t, A_{gs}, A_{gd}, A_c : rispettivamente area totale bagnata della sezione, area bagnata in golena destra, in golena sinistra e nel canale principale;
- k_t, k_{gs}, k_{gd}, k_c : rispettivamente capacità di deflusso della sezione nel suo complesso, per la golena sinistra, la golena destra e per il canale principale.

Il coefficiente C viene introdotto per tenere in conto delle perdite energetiche dovute ai fenomeni di espansione o di contrazione della corrente. Esso viene definito dall'utente, sezione per sezione, in funzione delle caratteristiche del fenomeno di transizione. I valori tipici di tale coefficiente vengono indicati nella tabella 1.

Descrizione	Coefficiente di contrazione	Coefficiente di espansione
Nessuna perdita per contrazione o espansione	0.0	0.0
Transizione graduale	0.1	0.3
Ponti	0.3	0.5
Transizioni molto brusche	0.6	0.8

Tabella 1 - Valori tipici del coefficiente C.

La risoluzione delle equazioni (1) e (2) attraverso un procedimento iterativo permette di determinare l'andamento del profilo idrico in moto permanente una volta assegnate le caratteristiche geometriche e fisiche dell'alveo e le condizioni ai limiti del problema.

Il processo di risoluzione è volto essenzialmente ad individuare quel tirante idrico (nella sezione in cui esso non risulta già noto o calcolato in precedenza) che permette di verificare il bilancio energetico, espresso dalla (1), a meno di una tolleranza prefissata e ritenuta soddisfacente dall'utente. Per i dettagli di calcolo si rinvia alla documentazione del codice di calcolo.

Nei casi in cui si verifica il passaggio attraverso lo stato critico, l'equazione dell'energia (1) non può essere applicata in quanto la transizione tra moto in corrente lenta e moto in corrente veloce e viceversa non rispetta le ipotesi di moto gradualmente variato. Ciò può, ad esempio, verificarsi in seguito a elevati cambi di pendenza o alla presenza di forti restringimenti della sezione idraulica. In questi casi il codice di calcolo permette di risolvere il problema utilizzando o delle formule empiriche oppure l'equazione del momento.

In particolare l'equazione del momento può essere applicata, nel codice di calcolo HEC-RAS in tre differenti situazioni:

- presenza di un risalto idraulico;
- condizioni di deflusso attraverso un ponte senza che si generi un processo di moto in pressione;
- immissione di una corrente in un'altra corrente.

Senza entrare nei particolari, per i quali si rimanda alla letteratura specializzata ed al manuale scientifico del codice di calcolo, è qui il caso solo di riportare l'equazione del momento applicata ad una determinata massa d'acqua compresa tra due sezioni distinte 1 e 2:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \quad (7)$$

dove (vedi figura 2):

- P_i : forza legata alla pressione idrostatica agente sulle sezioni 1 e 2;
- W_x : forza peso proiettata nella direzione del moto;
- F_f : forza legata agli attriti;
- Q : portata;
- ρ : densità dell'acqua;
- ΔV_x : variazione di velocità nella direzione del moto.

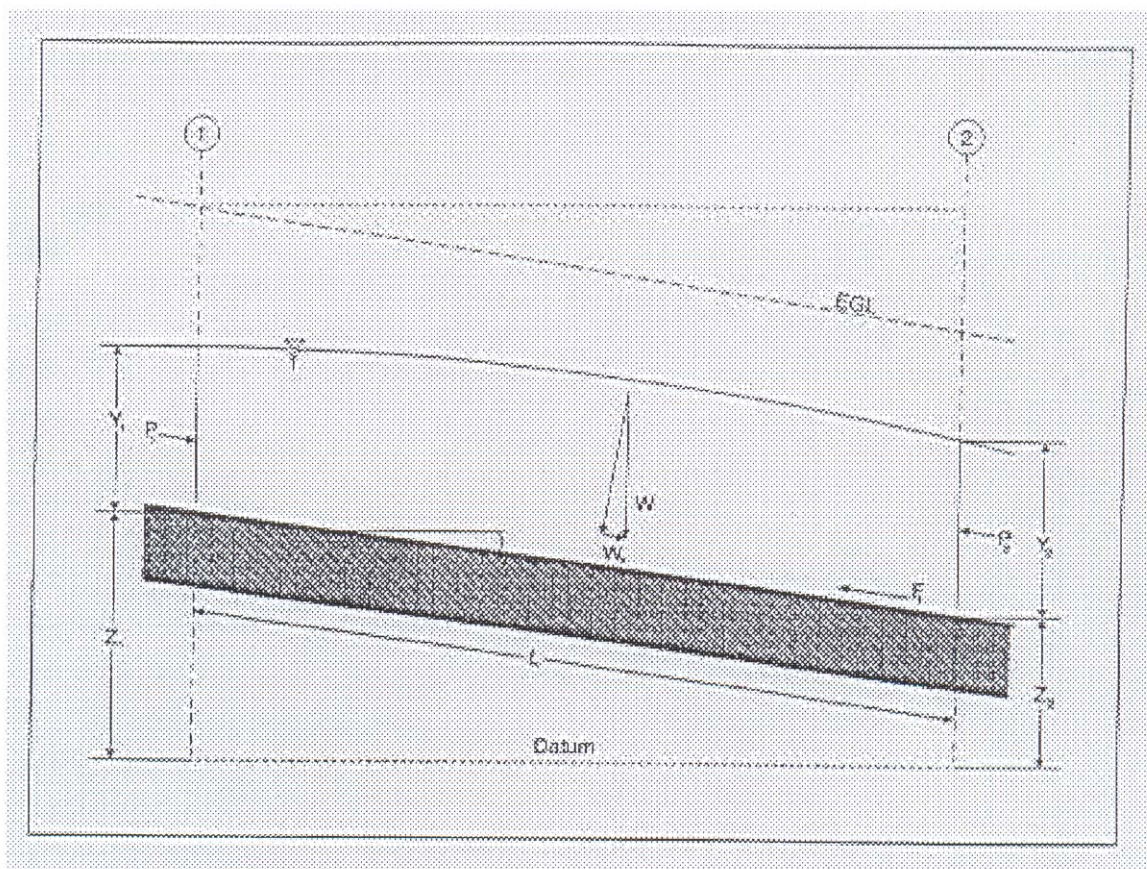


Figura 2 - Elementi caratteristici dell'equazione del momento.

In corrispondenza dei ponti, dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi, vengono utilizzati metodi di calcolo specifici. Il codice di calcolo permette di considerare l'intera gamma di condizioni che possono generarsi in un processo di deflusso attraverso un ponte. Tali condizioni sono di seguito riportate:

- la corrente non viene in contatto con l'intradosso del ponte (Low flow);
- la corrente viene in contatto con l'intradosso del ponte (Pressure/Weir flow).

La prima condizione a sua volta prevede i seguenti casi:

- la corrente si mantiene lenta durante l'attraversamento del ponte (Class A low flow);
- la corrente transita attraverso la profondità critica (Class B low flow);
- la corrente si mantiene veloce durante l'attraversamento del ponte (Class C low flow).

La seconda condizione prevede a sua volta i seguenti casi:

- il ponte risulta in pressione (Pressure flow);
- il ponte viene sormontato (Pressure and Weir flow).

Le perdite energetiche caratteristiche del deflusso attraverso la struttura comprendono:

- le perdite che si sviluppano nei tratti immediatamente a monte e a valle del manufatto; tali perdite sono dovute essenzialmente ai processi di contrazione ed espansione della corrente;

- le perdite che si generano proprio nel processo di deflusso attraverso la struttura.

In funzione delle condizioni di deflusso che vengono a crearsi, si applicano metodi di calcolo differenti per valutare le perdite di carico e quindi l'andamento del profilo idraulico nell'intorno della struttura.

Il codice di calcolo permette di risolvere i problemi relativi al deflusso di portata anche attraverso i tombini. La risoluzione di tali problemi si fonda sull'approccio teorico proposto nella letteratura specializzata (cfr. *"Open Channel Hydraulics"*, V.T.Chow).

Il tipo di deflusso attraverso un tombino può essere catalogato come deflusso con sezione di controllo presso l'imbocco (in seguito **"inlet control"**) o con sezione di controllo presso l'uscita (**"outlet control"**).

Nel caso di **"inlet control"** la capacità del tombino dipende dal carico idraulico alla sezione di approccio, dalla geometria della sezione di ingresso, dal tipo di imbocco, la scabrezza del tombino, la sua lunghezza e pendenza. Le condizioni idrauliche del ricettore di valle non sono elementi determinanti in grado di influenzare la capacità di deflusso.

Nel caso di **"outlet control"** gli elementi determinanti per fissare la capacità idraulica del tombino sono, oltre a quelli caratteristici del caso precedente, la lunghezza, la pendenza e la scabrezza del tombino e le caratteristiche idrauliche del ricettore di valle.

Il codice di calcolo risolve generalmente il problema calcolando, per la portata fissata dall'utente, il tirante idrico nella sezione di approccio al tombino utilizzando sia le equazioni adatte ai casi di **"inlet control"** sia quelle per i casi di **"outlet control"**. Si assume quindi che la soluzione sia quella cui è associato il massimo tirante idrico.

Nei casi di **"inlet control"** il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato schematizzando il moto della corrente come quello che si genera sotto una paratoia a battente. Nei casi di **"outlet control"** il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato a partire dal tirante idrico alla sezione di sbocco del tombino e considerando le perdite energetiche concentrate e distribuite che si determinano nel processo di deflusso.